Math. A.

253 p=

J. Wilson

DIE

DAMPFKESSEL,

DEREN

FESTIGKEIT, CONSTRUCTION

UND

ÖKONOMISCHER BETRIEB.

VON

ROBERT WILSON, A. I. C. E.

VIERTE VERBESSERTE AUFLAGE.

AUS DEM ENGLISCHEN ÜBERSETZT

UND

FÜR DEUTSCHE VERHÄLTNISSE BEARBEITET

VON

MAX BORNS,
Ingenieur zu London.

MIT IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1878.

bleibt!
222 F
n 5/11 60
Wa 78

ANKÜNDIGUNG.

Das vorliegende Werk bringt in achtzehn Capiteln eine Abhandlung über Dampfkessel, in möglichst einfacher und verständlicher Behandlungsweise und ohne Benutzung höherer Rechnungsoperationen, damit der Inhalt des Buches jedem mit Dampfkesseln Beschäftigten zugänglich sei. Es ist die Benutzung von Formeln möglichst unterblieben und in den meisten Fällen sind die Berechnungen auf die Festigkeit des Materials selbst oder auf Erfahrungs-Resultate zurückgeführt.

In den ersten Capiteln sind die Eigenschaften und Festigkeiten der bei Kesseln vorkommenden Formen und Materialien ausführlich behandelt. Hieran schliessen sich die Capitel über Details und Verbindungen von Kesseltheilen, durch Vernietung und Schweissung, während der Verankerung der Kessel und Befestigung der Heizrohre ein besonderes Capitel gewidmet wurde. Im nächsten Capitel sind die Kesselarmaturen aufgeführt, und hat es sich hierbei der Verfasser zur Aufgabe gemacht, bestehende verwerfliche Constructionen hervorzuheben, und erprobte und bewährte zu beschreiben, welche an deren Stelle Verwendung finden sollten, ohne jedoch dabei den Constructeur in der freien Behandlung seiner Details zu beeinträchtigen. Es folgt hierauf ein Capitel über Kesselniederschläge, deren chemische Zusammensetzung und, soweit dies nach den Erfahrungen der Praxis möglich ist, deren Verhinderung und Entfernung. Im neunten Capitel ist der Gebrauch und die Abnutzung von Kesseln, die Ursache des kurzen Lebens so vieler Kessel und die Heilmittel sehr ausführlich besprochen worden, und ist die Behandlung dieses Gegenstandes in ihrer Art wohl neu; dies Capitel konnte nur von Jemand geschrieben werden, der längere Zeit selbst die Ueberwachung und Inspection von Kesseln besorgte. Aehnlich ist es mit den Capiteln über Kesselprüfung und Kesselexplosionen; der Leser wird in diesen eine Anzahl praktischer Rathschläge und Winke finden, die er sich durch eigene Beobachtung nur im Laufe von Jahren aneignen könnte. Einige Capitel über die Verbrennung von Kohlen, Verhinderung von Rauch, den Werth und die Wirkung der Heizfläche in den verschiedenen Kesseltheilen, und die hierauf zu basirende Grössen-Berechnung der Kessel, werden sicher zum Werthe des Buches beitragen.

Eine Reihe von Tabellen über die verschiedensten Gegenstände, besonders aber sehr ausführliche Tabellen über die Festigkeit von Rohren und Kesseln mit innerem und äusserem Drucke, werden zweifellos Manchem willkommen sein.

DIE

DAMPFKESSEL,

DEREN

FESTIGKEIT, CONSTRUCTION

UND

ÖKONOMISCHER BETRIEB.

DIE

DAMPFKESSEL,

DEREN

FESTIGKEIT, CONSTRUCTION

UND

ÖKONOMISCHER BETRIEB.

VON

ROBERT WILSON, A. I. C. E.

VIERTE VERBESSERTE AUFLAGE.

AUS DEM ENGLISCHEN ÜBERSETZT

UND

FÜR DEUTSCHE VERHÄLTNISSE BEARBEITET

VON

MAX BORNS,
Ingenieur zu London.

MIT IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1878.

Alle Rechte vorbehalten.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

VORREDE

ZUR

ERSTEN AUSGABE.

Das vorliegende Werk, jetzt bereits in englischer Sprache in fünfter Auflage erschienen, hat sich in England allgemein einer so günstigen Aufnahme erfreut, dass ich eine Uebersetzung und Bearbeitung desselben für deutsche Verhältnisse auf den Rath mehrerer Fachleute übernommen habe. Hierbei war es nun nöthig, die Dimensionen, Formeln und Tabellen für das Metermaass umzurechnen, manches Veraltete wegzulassen und Neues einzufügen. So sind unter Anderem Theile des Capitels über Stahl, die Notizen über messingene und eiserne Heizrohre, sowie die Verdampfungswerthe verschiedener Kohlensorten neu, die Tabellen über die Festigkeit eiserner Kessel und Rohre mit innerem und äusserem Druck sind neu berechnet, und möchten wohl die vollkommensten ihrer Art sein. Bezüglich der letzteren, der Rohre mit äusserem Druck, möchte ich erwähnen, dass dieselben, trotz vielfacher Anfechtungen über die Richtigkeit der Fairbairn'schen Formel, doch nach einer auf dieser basirten Formel für Metermaass berechnet worden sind.

Die Ansicht vieler Fachmänner deutet in der letzten Zeit dahin, dass die Länge eines Rohres eine so hervor-

ragende Rolle, wie ihr in Fairbairn's Formel zufällt, nicht einnehmen kann, und wenn auch zweifellos dieser Punkt ein anfechtbarer sein mag, so fehlt es doch zur Zeit noch an ausreichenden Experimenten, um eine neue, bessere Formel ableiten zu können. Ueber die Tendenz des Buches wird eine Uebersetzung der Vorrede der ersten englischen Ausgabe, die ich hier folgen lasse, am besten Aufschluss geben:

„Es sollen in diesem Buche keine neuen Thatsachen oder Ansichten über den Gegenstand gegeben werden, mit dem es sich befasst. Der Anspruch, den es auf eine günstige Aufnahme machen kann, gründet sich darauf, dass vom Verfasser der Versuch gemacht wurde, die Hauptpunkte der Construction und Behandlung von Dampfkesseln zusammen zu stellen und durch die in einer mehrjährigen Beschäftigung als Kesselinspector und anderweitig in der Praxis gesammelten Erfahrungen und Ansichten zu erläutern. Es sind ferner eine Anzahl solcher Werke benutzt worden, die dem mit Kesseln Beschäftigten und anderweitig Interessirten nicht leicht zugänglich sind.

Manche der ausgesprochenen Ansichten, die auf Erfahrungen begründet sind, mögen später einer Aenderung bedürfen, wenn durch bessere Untersuchungen und ausführlichere Experimente neues Licht über die verschiedenen Fragen verbreitet werden sollte.

Da eine Geschichte der Dampfkessel weit über den Raum des vorliegenden Werkes hinaus gehen würde, so sind nur einige der bedeutendsten Punkte derselben im ersten Capitel erwähnt worden. Eine ausführliche Geschichte, begleitet von Anmerkungen, welche die Mängel und Fehler der verschiedenen mit Dampfkesseln verbundenen Erfindungen darlegte und zeigte, weshalb dieselben aus der Praxis verbannt wurden, würde für Viele von grossem Werthe sein. Urtheilt man nach dem häufigen Wiederauftauchen alter Fehler, so scheint es fast von

eben so grosser Wichtigkeit zu sein, zu wissen, was in der Construction von Kesseln zu vermeiden, als was anzuwenden sei.

An vielen Stellen sind in dem vorliegenden kleinen Werke die Quellen und Autoritäten angegeben, häufig, und besonders, wo dieselbe Autorität wiederholt citirt wurde, ist dies unterblieben, der Verfasser möchte jedoch hier mit Dank die Hilfe anerkennen, die ihm aus der Benutzung der verschiedenen Werke erwachsen ist.“

Indem ich nun dieses Buch in seiner neuen Form allen Denen übergebe, die mit der Construction, Untersuchung und Wartung von Dampfkesseln zu thun haben, geschieht dies mit dem aufrichtigen Wunsche, dass sich meine Arbeit als eine nützliche erweisen, und das Buch sich in Deutschland einer ebenso günstigen Aufnahme und wohlgemeinten Beurtheilung erfreuen möge, wie die Originalausgabe in England.

Durch Anfügung eines alphabetisch geordneten Sachregisters hoffe ich das schnelle Nachschlagen erleichtert zu haben.

London, im Juli 1878.

Max Borns.

INHALT.

Seite

Erstes Capitel. Einleitung 1
Zweites Capitel. Die Festigkeit des Cylinders, der Kugel und ebenen Fläche 8
Der Cylinder 8
Innerer Druck 8
Aeusserer Druck 14
Die Kugel 22
Ebene Flächen 24
Drittes Capitel. Die Eigenschaften der Dampfkesselmaterialien 30
Gusseisen 30
Das Kupfer 37
Das Schmiedeeisen 39
Der schmiedebare Guss 53
Der Stahl 54
Viertes Capitel. Vernietung 67
Fünftes Capitel. Schweissen 106
Sechstes Capitel. Construction der Kessel 110
Siebentes Capitel. Kesselarmaturen 144
Kesselspeisevorrichtung 146
Sicherheitsventile 152
Apparate, welche bei niedrigem Wasserstande in Wirkung treten 163
Schmelzbare Platten 163
Manometer 165
Wasserstandszeiger 168
Abblasevorrichtung 172
Mannlochdeckel 176
Schlammlöcher 178
Dampfdome und Dampfbehälter 180
Feuerthüren und Roste 183
Kesselmauerungen 189

Seite
Achtes Capitel. Kesselstein-Niederschläge 192
Neuntes Capitel. Gebrauch und Abnutzung der Kessel . . 227
Zehntes Capitel. Sicherheitscoëfficient 257
Elftes Capitel. Kesselprüfung 263
Zwölftes Capitel. Kesselexplosionen 275
Dreizehntes Capitel. Verbrennung von Kohlen 295
Die Steinkohle 300
Die Braunkohlen 303
Verbrennung von Kohlen 304
Vierzehntes Capitel. Das Feuern und die Verhinderung von Rauch 317
Das Feuern von Kesseln 322
Fünfzehntes Capitel. Die Heizfläche 329
Sechszehntes Capitel. Berechnung der Grösse von Dampfkesseln 358
Zum sechszehnten Capitel. Eigenschaften des gesättigten Wasserdampfes 363
Siebenzehntes Capitel. Bruchbelastung für schmiedeeiserne Rohre und Kessel 366
Mit innerem Druck 366
Rohre mit äusserem Druck 375
Achtzehntes Capitel. Polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Dampfkesseln 387
Bau der Dampfkessel 387
Ausrüstung der Dampfkessel 388
Prüfung der Dampfkessel 389
Aufstellung der Dampfkessel 390
Allgemeine Bestimmungen 391
Gesetz, den Betrieb der Dampfkessel betreffend . . 391
Regulativ zur Ausführung des Gesetzes vom 3. Mai 1872 etc. 392

Erstes Capitel.

Einleitung.

Die ausserordentliche Entwickelung, welche die Anwendung des Dampfes in neuer Zeit erlangt hat, muss dem industriellen Erfolge desselben zugeschrieben werden. So lange als die Anwendung des Dampfes sich billiger stellt als die anderer Betriebsmittel, wird derselbe auch seine jetzige Stellung beibehalten, sowohl als bewegende Kraft, als auch für die vielen verschiedenen Zwecke in chemischen und anderen industriellen Zweigen, in welchen derselbe so ausgedehnte Verwendung findet.

Es giebt jedoch gewisse theoretische Erwägungen im Zusammenhange mit der jetzt gebräuchlichen Art und Weise in der Anwendung des Dampfes, welche für sich betrachtet darauf hinweisen, dass wir auf keinen Fall berechtigt sind, denselben für das vortheilhafteste und sparsamste Betriebsmittel zu halten. In Folge dessen sind vielfache Versuche gemacht worden, den Dampf als treibende Kraft durch etwas anderes zu ersetzen, bis jetzt jedoch erfolglos, weil sich die praktischen Schwierigkeiten, die mit allen anderen Stellvertretern unzertrennlich verbunden sind, bis jetzt als unüberwindlich erwiesen haben.

Es ist nicht sehr wahrscheinlich, dass wir alle diese Hindernisse bald überwunden sehen werden; aber angenommen selbst, die erfolgreiche Verwendung einer mehr empfehlenswerthen Betriebskraft würde morgen als praktisch erwiesen, so würde es doch so lange dauern, ehe alle die jetzigen Einrichtungen durch neue ersetzt werden könnten, dass es

immer noch zu unserem Vortheil sein würde, die gegenwärtigen Methoden der Verwendung des Dampfes zu verbessern, und uns klar zu machen, in welcher Richtung weitere Verbesserungen in seiner ökonomischen Anwendung zu machen sind.

Es ist schon längst durch theoretische Betrachtungen angedeutet worden, welche ökonomischen Vortheile von der Anwendung hochgespannter Dämpfe verbunden mit hohen Expansionsgraden sich im Dampfcylinder erzielen lassen. Die praktischen Schwierigkeiten, welche dieser Anwendung im Wege standen, sind allmälig überwunden, und das Resultat ist der nicht geringe Fortschritt, dass man jetzt 70 bis 150 Pfund Druck pro Quadratzoll anwendet, während vor 40 Jahren allgemein nur 7 bis 10 Pfund Druck angewandt wurden, und werden die höheren Spannungen sich ohne Zweifel noch weiterer und ausgedehnterer Anwendung erfreuen, wenn die Vortheile höherer Expansion allgemein Anerkennung gefunden haben. Eins der Hindernisse, auf welches der Fortschritt nach dieser Richtung hin stösst, liegt in der Schwierigkeit, sichere Behälter herzustellen, welche hinreichende Stärke und Einfachheit mit mässigem Preise für Herstellung und Unterhalt verbinden, um als Dampferzeuger und Dampfbehälter zu dienen. Es kann kaum behauptet werden, dass diese Schwierigkeit sich auf dem Wege zur Lösung befände, wenn man nach den zahlreichen Uneeheuern urtheilen darf, welche der Kesselbau ins Dasein gerufen hat.

Es ist unsere Absicht nicht, hier den Kessel der Zukunft zu beschreiben; dies kann nicht eher geschehen, als bis die Erfahrung uns gelehrt hat, welche Vor- und Nachtheile die vielen Hochdruck-Röhrenkessel besitzen, welche neuerdings eingeführt worden sind, und welche sich augenblicklich noch gewissermaassen im Experimentalstadium befinden; sondern vielmehr die Principien der Construction und Behandlung vorzuführen, deren Kenntniss für die sichere und ökonomische Anwendung der jetzt meist benutzten Kessel unausbleiblich nothwendig ist.

Ein Dampfkessel kann als ein geschlossenes Gefäss beschrieben werden, in welchem Dampf erzeugt wird; er kann in den mannigfaltigsten Formen und aus den verschiedensten Materialien hergestellt werden.

Der Kesselbau nimmt gegenwärtig eine hervorragende Stelle in der Industrie ein. Der Fortschritt desselben ist besonders durch die grössere Leichtigkeit, mit der geeignete Materialien beschafft werden können, begünstigt, ferner durch Verbesserung in den Verarbeitungsmethoden, und endlich durch unsere bessere Bekanntschaft mit den Gesetzen, auf welchen die Sicherheit und Billigkeit des Baues und der Wartung eines Kessels beruhen.

In der ersten Periode der Dampfmaschinen wurden Gefässe aus Kupfer und Gusseisen zur Dampferzeugung benutzt. Wir finden sogar gelegentlich Angaben, dass Apparate aus Stein und selbst aus Holz mit inneren Flammenröhren aus Kupfer und Eisen benutzt worden sind (s. Engineering, Bd. XXII, S. 385). Es ist jedoch wahrscheinlich, dass dieselben nicht mit mehr als atmosphärischem Druck benutzt wurden. Der hohe Preis des Kupfers verbietet von selbst die ausgedehnte Anwendung desselben, wenn sich billigere Materiale finden lassen. Sobald Dampf von 7 bis 10 Pfund über dem Atmosphärendruck in den Gebrauch kam, stellte es sich heraus, dass Gusseisen für die damalige Construction von Kesseln unsicher und unzuverlässig war, es wurde deshalb verworfen und dem Schmiedeeisen der Vorzug gegeben. Letzteres wurde wahrscheinlich deshalb nicht früher angewandt, weil sich in der Verarbeitung sowohl als auch in der Erreichung dampfdichter Verbindungen Schwierigkeiten zeigten. In neuer Zeit ist dasselbe jedoch fast ausschliesslich angewandt, und hat alle anderen Materiale in den Hintergrund gedrängt.

Seitdem neuerdings Stahl für die Construction von Dampfkesseln eingeführt worden ist, können wir kaum einen weiteren Fortschritt in der Anwendung eines stärkeren Materials erwarten. Alle Anstrengungen, die Widerstandsfähigkeit der Kessel zu vergrössern, sollten deshalb dahin gerichtet sein, die Formen und die Materialvertheilung zu verbessern. Dies ist in der hervorragendsten Weise in den verschiedenen Segmentkesseln, Röhrenkesseln und anderen sogenannten „Inexplosibles“ u. s. w. angestrebt worden.

Die Verschiedenheit der Formen, in welchen Dampfkessel angefertigt werden, und in deren Entwickelung sich viel Scharfsinn zeigt, ist durch mannigfaltige Anforderungen an dieselben begründet; unter diesen seien erwähnt: Stärke, Haltbarkeit, geringes Volumen und Gewicht, Ersparniss in Arbeit

und Material, vergrösserte Heizfläche mit günstigerem Effect, Verbesserung in der Circulation, Verhinderung von Rauch, Sparsamkeit im Brennmaterial, Leichtigkeit der Revision, Reinigung und Ausbesserung.

Einige der ersten Kessel wurden in Kugelform aus Gusseisen angefertigt und die Feuerung darunter angeordnet. Wegen der geringen Heizfläche wurden dieselben jedoch bald durch andere geeignetere Gefässe ersetzt. Ein Cylinder mit flachem Boden, gewölbtem Deckel und mit innerem Feuerrohr versehen trat an seine Stelle. Um jedoch die Stärke des Bodens zu vergrössern, fand man es nothwendig, denselben nach innen zu wölben. In der Absicht, grössere Heizfläche zu erzielen, wurde der verticale Cylinder durch den horizontalen langen Kessel ersetzt. Sobald Schmiedeeisen in Anwendung kam, vergrösserte man die Dimensionen, und der Koffer oder Wagenkessel von Watt, der noch vor 30 Jahren im Lancashire-District sich des besten Rufes erfreute, wurde angefertigt. Nachdem derselbe verschiedene Modificationen in der Form durchgemacht hatte, theils um grössere Stärke, theils um grössere Heizfläche zu erzielen, ist auch diese Construction heute nur noch selten zu finden. Die Neigung zur Formenänderung trotz der allercomplicirtesten Verankerung macht diese Kesselform für den jetzt allgemein angewandten hohen Druck unbrauchbar.

Aus dem alten verticalen cylindrischen Kessel entwickelte sich der sogenannte Heuschober oder Ballonkessel mit conischer Seite und halbkugelförmigem Deckel in Schmiedeeisen ausgeführt. Diese Form erfreute sich einer ausgedehnten Anwendung, und noch heute sind viele derselben in den Staffordshire-Districten zu finden, einige bis zu 20 Fuss = 6,05 m im Durchmesser. Wegen der geringen Heizfläche und der Unsicherheit des Bodens verschwinden diese Kessel mehr und mehr, um den gegenwärtig mehr allgemein verwendeten kleinen cylindrischen Kesseln Platz zu machen, die man ihrer grösseren Festigkeit halber allgemein verwendet.

Die einfachste Form der letzteren ist der horizontale Cylinder mit äusserer Feuerung und mit flachen, gewölbten, oder in den meisten Fällen halb kugelförmigen Enden. Um nun in diesen cylindrischen Kesseln die Heizfläche zu vergrössern ohne das Volumen zu vermehren, wurde das Flammrohr eingeführt, durch welches die heissen Verbrennungsgase auf ihrem Wege zum Schornstein geleitet werden.

In der Absicht Feuerung zu sparen, legte man den Rost in das Flammrohr, und wurde diese allgemein gebrauchte und beliebte Form „Cornwall"-Kessel genannt nach dem District, in welchem derselbe zuerst ausgedehnte Anwendung fand. Da sich mit der Grösse des Kessels und Rostes die Festigkeit des grossen Flammrohres bedeutend vermindert, so wendete man bald doppelte Rohre an, und diese Kessel führen den Namen Lancashire-Kessel.

Von diesen zwei Grundformen lassen sich eine grosse Anzahl von Modificationen aufzählen: In dem sogenannten „Breeches-Kessel" sind die beiden Flammrohre hinter der Feuerbrücke in ein grosses gemeinschaftliches Rohr vereinigt; die schwache Construction des Verbrennungsraumes, d. h. des Theiles, welcher die Verbindung zwischen den Feuerrohren und dem gemeinschaftlichen Flammrohre herstellt, hat häufig Veranlassung zu Unfällen gegeben, und dieser Umstand sowohl als auch die geringe Heizfläche hat dazu geführt, diesen Kessel ausser Gebrauch zu bringen, obwohl sich derselbe leicht verstärken lassen würde.

Ferner ist zu erwähnen der „Butterly"-Kessel mit rundem oder elliptischem innerem Flammrohr. Der concave Bogen am Vorderende, welcher zur Erlangung eines grossen Rostes eingeführt wurde, ist von sehr schwächlicher Form und macht den Kessel für Hochdruck unbrauchbar. Aus diesem Grunde verschwindet derselbe fast ganz. Die nächste Construction ist der Multitubular- oder Röhrenkessel; eine grössere Anzahl Röhren von kleinem Durchmesser werden angewandt, um mehr Heizfläche zu erzielen; in einigen dieser Kessel zeigen die Verbrennungsräume eine schwache Construction, die durch Wasserrohre oder andere Mittel verstärkt werden muss.

Nun kommen wir zu einer anderen Classe von Modificationen, um gleichzeitig die Flammrohre von grossem Durchmesser zu verstärken, die Heizfläche zu vergrössern und eine bessere Circulation zu erzielen, wurden kleine, die Axe des Flammrohres rechtwinkelig schneidende Rohre eingefügt. Die hervorragendste derartige Construction ist der Galloway-Kessel, welcher sich seit langer Zeit der besten Aufnahme unter den Fabrikanten erfreut. Das schwache elliptische Flammrohr wird, wenn seine Form nicht zu unregelmässig ist, durch die verticalen conischen Wasserrohre hinreichend verstärkt, und kann das Ganze so construirt werden, dass es eine ebenso hohe Dampf-

spannung auszuhalten im Stande ist, wie irgend einer der aufgeführten Kessel mit innerer Feuerung.

Hier darf jedoch nicht vergessen werden, dass man diese Vortheile auf Kosten der Einfachheit erreicht, und dass hierdurch die Schwierigkeiten der Untersuchung, Reinigung und Reparatur vergrössert werden.

Der französische sogenannte Elephanten-Kessel mit seinen zwei Siedern unter dem Hauptkessel, und mit dem letzteren durch Verbindungsrohre vereinigt, hat, trotzdem er in Frankreich ausgedehnt angewandt wird, doch weder hier noch in England viel Anklang gefunden.

Die mannigfachen Formen des Verticalkessels mit durch den Dampfraum gehenden Schornsteinen oder Flammrohren, können als Modification des auf ein Ende gestellten Cornwall-Kessels angesehen werden. Durch Aenderung der Aufstellung werden jedoch gleichzeitig viele Eigenschaften des Kessels ganz bedeutend verändert.

Die verticalen Kessel sind von allen Kesselformen die veränderlichsten und im grossen Ganzen die verschwenderischsten in Bezug auf Brennmaterial. Gleichzeitig sind sie jedoch ihrer bequemen Form halber für viele Industriezweige unentbehrlich. Der sogenannte Rastrik-Kessel, der auf Hochöfenwerken sehr ausgedehnte Anwendung findet, ist ein verticaler, cylindrischer Kessel von grossem Durchmesser mit einem centralen Flammrohr, welches mit zwei oder mehreren horizontalen Flammrohren verbunden ist, und durch die letzteren streichen die heissen Hochofengase, um durch das gemeinschaftliche Flammrohr abzuziehen.

Der Locomotivkessel wird für stationäre Zwecke häufig da angewendet, wo es sich um möglichst grosse Leistung im kleinsten Raume handelt, und kann selbst für die höchsten Spannungen, wenn die flachen Seitenwände vorsichtig versteift sind, zu einem sehr zuverlässigen und schnell Dampf entwickelnden Kessel gemacht werden. Mehrere der oben genannten Kessel sind zur Erzielung einer besseren Circulation und grösseren Heizfläche mit Röhren nach Field's, Cadby's und anderen Systemen versehen; diese tragen ganz bedeutend dazu bei, die Dampfentwickelung zu vergrössern, besonders wenn neu, vermehren aber gleichzeitig die Complicirtheit derselben. Ausser diesen cylindrischen Kesseln, welche mehr oder weniger einfach in ihrer Construction sind, giebt es verschie-

dene Arten von sogenannten Röhrenkesseln, welche in letzter Zeit bedeutend in Aufnahme gekommen sind. Dieses sind meist Modificationen des ersten derartigen Kessels von Wolf; sie bestehen meist aus einer Anzahl von Röhren, in denen Dampf erzeugt wird, und die mit einem gemeinschaftlichen Sammler zur Aufnahme des erzeugten Dampfes verbunden sind. Das hierbei angestrebte Ziel ist Verhinderung gefährlicher Explosionen, Sparsamkeit im Brennmaterial und schnelle Dampferzeugung. Für sehr hohe Spannung wird ohne Zweifel eine ähnliche Construction, auch in Zukunft weite Verwendung finden, gegenwärtig befinden sich jedoch mehrere derselben noch sehr im Veränderungsstadium, und mehrere recht fatale, wenn nicht gefährliche Explosionen haben bereits bei einigen der sogenannten nicht explodirbaren Kesseln stattgefunden.

Zweites Capitel.

Die Festigkeit des Cylinders, der Kugel und ebenen Fläche.

Zerlegt man die verschiedenen beim Kessel vorkommenden Formen, so findet man, dass sich dieselben in Cylinder, Ovale, Kugeln, gebogene und ebene Flächen auflösen.

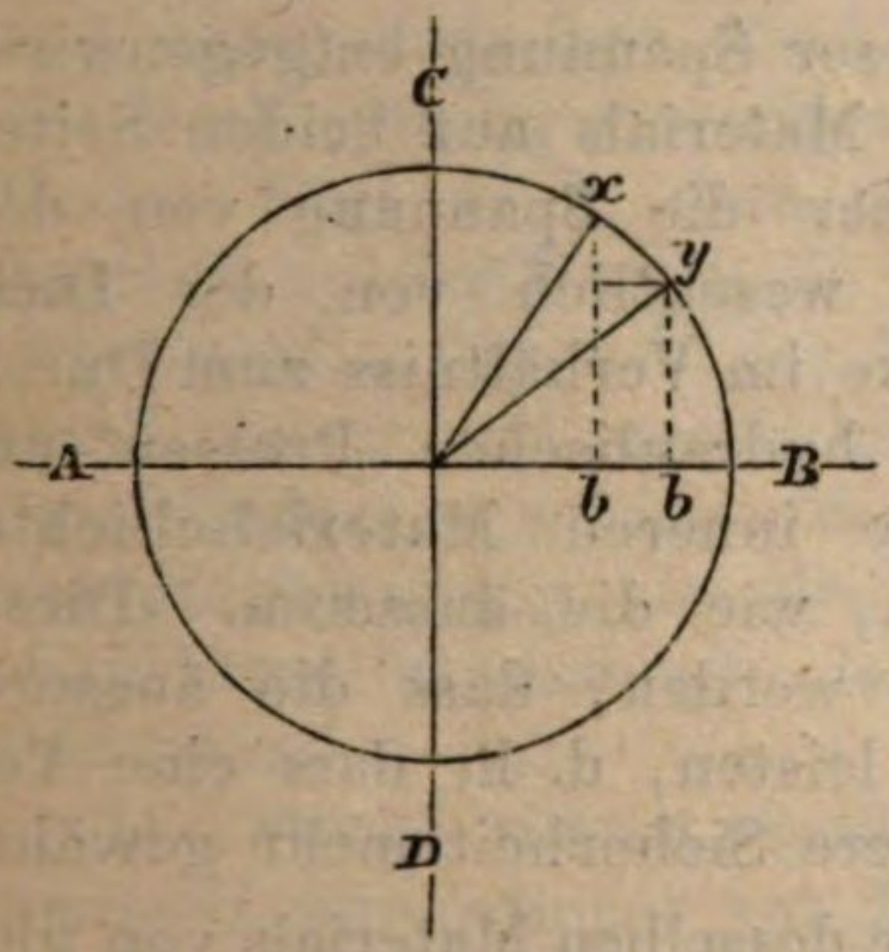
Der Cylinder.

Innerer Druck.

Nach dem wohlbekannten hydrostatischen Gesetze übt der in einem verschlossenen Gefässe befindliche Dampf nach allen Seiten gleichen Druck aus. Wird der Druck gegen den Umfang eines Cylinders ausgeübt, so muss man deshalb den Druck als in radialer Richtung von der Axe aus annehmen, und zwar befinden sich alle Theile des Umfanges in gleicher Spannung. Das Bestreben, in der Längsrichtung einen Bruch zu verursachen, oder den Cylinder in Linien parallel zur Längsaxe zu zerreissen, kann als eine Kraft angesehen werden, welche, in entgegengesetzter Richtung wirkend, den Cylinder in zwei Theile zu zerreissen versucht. Diese Kraft muss, wenn Wirkung und Gegenwirkung dieselbe sein soll, auf gleiche Flächen wirken, und wir können diese losreissende Kraft als den auf den halben Umfang ausgeübten Druck ansehen, der den Cylinder in einer durch den Durchmesser gehenden und in der Axe liegenden Ebene zu zerreissen sucht. Da jedoch der Druck nach allen Seiten gleich stark ist, so folgt, dass nicht der ganze auf den halben Umfang ausgeübte Druck die Wirkung haben kann, eine Spannung vertical zu dem Durchmesser zu erzeugen, in welchem wir den Cylinder zerreissen wollen.

Betrachten wir die Kräfte, welche einen Bruch in der Richtung des horizontalen Durchmessers AB, Fig. 1, erzeugen würden, so finden wir, dass der aufwärts und abwärts gerichtete Druck nur in dem verticalen Durchmesser CD stattfindet. Je mehr wir uns nach rechts oder links von dieser Linie entfernen, um so mehr wird der Druck in diagonaler Richtung mit verringerter verticaler Wirkung ausgeübt und somit geringere Spannung in AB erzeugt, bis dieselbe in den Punkten A und B selbst gänzlich verschwindet. Der radiale Druck in jedem Punkte kann in seine zwei Componenten, die Horizontale und Verticale, zerlegt werden. Die erstere hat auf eine Spannung in AB selbstverständlich keine Einwirkung, addirt man alle verticalen Componenten in einer unendlich grossen Zahl von Punkten in dem Halbkreise, so findet man, dass deren Summe gleich ist dem vollen Druck, ausgeübt auf die Länge des Durchmessers.

Fig. 1.



Betrachten wir den Cylinder als aus einer Anzahl von dicht neben einander gelegten Ringen von der Länge Eins bestehend, deren jeder den auf ihn ausgeübten Druck selbständig auszuhalten hat. Es sei $ACBD$ ein solcher Ring, P der Druck per Flächeneinheit; xy ein sehr kleiner Theil des Umfanges und a der Centriwinkel mit AB. So ist der auf xy in der Richtung des Radius ausgeübte Druck $P \,.\, xy$. Zerlegen wir diesen Druck, so erhalten wir als verticale Componente $P \,.\, xy \cos a$; es ist aber $xy \cos a$ gleich der Projection des Bogens xy auf $AB = bb$, also die verticale Componente ist gleich $P \,.\, bb$ und die Summe aller verticalen Componenten $= P \,.\, \Sigma bb = P \,.\, AB$.

Es lässt sich demnach die Kraft, welche bestrebt ist, den Cylinder in der Längsrichtung zu zerreissen, durch das Product aus Durchmesser und Druck per Flächeneinheit darstellen. Da dies jedoch nur für einen Cylinder von der Länge Eins ausreichend ist, so ist es selbstverständlich, dass, um die Gesammtkraft zu erhalten, welche bestrebt ist, den Cylinder in der

Längsrichtung zu zerreissen, wir dies Product mit der Länge multipliciren müssen; also gleich $P \,.\, AB \,.\, L$. Der praktische Beweis für die Richtigkeit dieser Formel ist durch Versuche festgestellt worden.

Der Widerstand, welcher dieser Spannung entgegenwirkt, ist natürlich die Festigkeit des Materials auf beiden Seiten. Die Art und Weise, in welcher die Spannung von dem Material ertragen wird, hängt wesentlich von der Dicke desselben ab. Ist die Plattenstärke im Verhältniss zum Durchmesser bedeutend, wie in den hydraulischen Pressen und Kanonenrohren, so werden die inneren Materialschichten stärker in Anspruch genommen, wie die äusseren. Dieser Unterschied kann so bedeutend werden, dass die äusseren keine wesentliche Unterstützung leisten, d. h. dass eine Verstärkung der Wände keine grössere Sicherheit mehr gewährt.

Nehmen wir zwei gerade Stäbe desselben Materials von gleichem Querschnitt, aber von verschiedenen Längen, und belasten dieselben gleichmässig in der Richtung der Längsaxe, so werden sich dieselben in gewissen Grenzen im Verhältniss zu ihrer Länge ausdehnen. Angenommen, ein Stab von 1 m Länge sei durch ein gewisses Gewicht um 1 cm verlängert, so würde ein gleicher Stab von 10 m Länge bei gleicher Belastung 10 cm Ausdehnung erfahren haben. Die Ausdehnung ist also einfach ein Factor der Länge *). In einem Cylinder von z. B. 96 mm innerem und 222 mm äusserem Durchmesser kann man sich die Wanddicke in Schichten von 10 mm zerlegt denken, so haben die Fasern der inneren Schicht bei 106 mm Durchmesser eine mittlere Länge von 333 mm, die der äusseren bei 212 mm Durchmesser

---

*) Aus den Resultaten einiger Experimente mit schmiedeeisernen Stäben entwickelt Sir W. Fairbairn irrthümlich eine Formel, nach welcher es den Anschein hat, als ob das Verhältniss der Verlängerung mit der Verminderung der Länge zunähme. Bei Annäherung an die Bruchbelastung dehnt sich ein guter Eisenstab im und nahe dem Punkte des Bruches ganz bedeutend aus. Der Betrag dieser örtlichen Ausdehnung ist, wenn ausser dem Zuge keine weitere Beeinträchtigung stattfindet, ganz unabhängig von der Länge des Stabes, und demnach ist das Verhältniss dieser gedehnten Länge zur verschiedenen Stablänge unveränderlich, d. h. es vergrössert sich je kürzer der Stab ist. Dieser Umstand wurde jedenfalls übersehen und ist anscheinend die Ursache zu dem Fehler, welcher allgemein angenommen wurde, bis Mr. Kirkaldy darauf aufmerksam machte.

eine Länge von 666 mm. Nehmen wir nun ferner an, dass eine Verlängerung von 0,9 Proc. das Material schon beschädigte, so würde dies in der inneren Schicht schon bei Vergrösserung des Durchmessers um circa 1 mm geschehen, während unter denselben Verhältnissen die äussere Schicht nur eine Verlängerung von circa 0,45 Proc. erfahren haben würde. Hieraus folgt denn, dass über gewisse Grenzen hinaus eine Verstärkung der Wände die Stärke eines Cylinders nicht mehr vergrössert. Die bei der Kesselconstruction vorkommenden Metallstärken sind jedoch im Verhältniss zu dem Durchmesser des Cylinders so geringe, dass man die durch radialen Druck erzeugte Spannung als gleichmässig im Material vertheilt ansehen kann, so dass also der Gesammtquerschnitt dem Druck Widerstand leistet.

Die Stärke eines Cylinders gegen transversalen Druck ist demnach proportional zur Dicke des Bleches und wird dargestellt durch das Product aus der Festigkeit des Materials und dem Querschnitt auf beiden Seiten, oder gleich der doppelten Dicke multiplicirt mit der Länge. Im Augenblicke eines Bruches ist dieser Materialwiderstand gleich dem Druck, bei welchem das Gefäss zersprengt wird. Bezeichnen wir mit P den Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, mit D den Durchmesser in Centimetern, mit L die Länge, mit δ die Dicke des Materials in Centimetern und mit K die absolute Festigkeit des Materials, so erhalten wir $P\,D\,L = 2\,\delta\,L\,K$, oder fällt nun L auf beiden Seiten heraus, dann ist: $P\,D = 2\,\delta\,K$ oder $\delta = \frac{P\,D}{2\,K}$. Aus dieser Formel geht hervor, dass die Länge auf die Widerstandsfähigkeit keinen Einfluss hat, denn, in demselben Verhältniss, wie durch die Länge der Druck wächst, vermehrt sich das den Druck aufnehmende Material. Trotzdem also hiernach die Länge keinen Einfluss auf die Festigkeit eines Cylinders hat mit Bezug auf den inneren Druck, so werden wir doch später sehen, dass wenn die Expansion und Contraction des Kessels auf seine Unterstützungen berücksichtigt werden, die Länge ein sehr wesentlicher Factor ist.

Aus obigen Betrachtungen ergiebt sich also als einfaches Resultat, dass die Festigkeit eines Cylinders gegen Zerreissen in der Längsrichtung durch inneren Druck direct proportional ist der Dicke und Festigkeit des Materials und indirect pro-

portional dem Druck und dem Durchmesser. Theoretisch betrachtet, wenn man annimmt, dass das Material durchgängig gleichmässige Festigkeit besitzt, so würde durch ausreichenden inneren Druck das Material gleichmässig gedehnt und also der Durchmesser vergrössert werden. Erreicht der Druck die Festigkeitsgrenze, so sollte das Material in allen Punkten des Umfanges gleichzeitig zerstört werden, d. h. der Cylinder müsste in Atome zerreissen. Natürlich ist diese Folgerung nur eine hypothetische. In Wahrheit zeigt das Material stets eine oder mehrere schwache Stellen, durch welche der Riss seinen Weg nimmt, während die übrigen Theile des Materials verhältnissmässig unbeschädigt bleiben.

Die Wirkung des gleichmässigen radialen Druckes von innen ist die, den Cylinder fortwährend genau kreisrund zu erhalten und denselben, falls er durch andere Ursachen diese Form verlassen haben sollte, hierauf zurückzuführen. Nur im genau kreisrunden Cylinder befinden sich der innere Druck und die Spannung im Material im Gleichgewicht.

In einem schmiedeeisernen Kessel kann die genau kreisrunde Form nicht erreicht werden, wenn die einfache Nietung angewendet wird, wobei die eine Platte die andere überdeckt. Die in diesem Falle verursachte Abweichung vom Kreise ist jedoch unbedeutend, und die durch die einfache Nietung verursachte Schwächung ist mehr der ungleichen Vertheilung der Spannung in der Nietnaht, als der Abweichung von der Kreisform zuzuschreiben. In einem mit flachen Böden versehenen Cylinder verhindert die durch dieselben verursachte Verstärkung die Ausdehnung des cylindrischen Theiles nahe den Enden und ein solcher Kessel hat mithin das Bestreben, durch den inneren Druck die Fassform anzunehmen. Nimmt man an, das Material sei hinreichend nachgiebig wie Gummi, und im Stande, die nöthige Ausdehnung zu ertragen, so würden sich die Seiten allmälig mehr krümmen und das Ganze endlich Kugelgestalt annehmen.

In sehr kurzen Cylindern spielen die Endplatten eine wesentliche Rolle in der Verstärkung gegen das Platzen in der Längsrichtung, und wenn die Länge den Durchmesser nicht übersteigt, nähert sich die Stärke der der Kugel. In der Praxis jedoch führen örtliche Fehler, wie verrostete Platten und Nietköpfe, Blasen im Blech u. s. w., zu Unfällen, gegen welche die Verstärkung durch die Endplatten nicht in Betracht kommen kann.

In einem elliptischen Kessel oder Rohr unterstützen die Endplatten wesentlich darin, den Kessel in seiner ursprünglichen Gestalt zu erhalten. Da diese Einwirkung mit der Entfernung von den Enden abnimmt, so wird ein derartiger Kessel am meisten in der Mitte einer Formenveränderung unterworfen sein. Da elliptische Rohre stets das Bestreben haben, unter Druck ihre Form zu ändern, ist es fast unmöglich, für die Stärke derselben Formeln aufzustellen, um so mehr als sich die Verhältnisse bei jeder Formenänderung so wesentlich und durchaus nicht nach einfachen Gesetzen verändern.

Wir haben nun den Widerstand in Betrachtung zu ziehen, den ein cylindrischer Kessel gegen das Zerreissen in einer Ebene vertical zur Längsaxe bietet. Die Kraft, welche das Bestreben hat, den Kessel in dieser Richtung durch Trennung zweier neben einander liegender Ringe zu zerreissen, ist jedenfalls der Druck, welcher gegen die Endflächen ausgeübt wird. Derselbe wird, was auch die Form der Enden sein mag, dargestellt durch den Querschnitt des Cylinders multiplicirt mit dem Druck pro Querschnittseinheit $= P \cdot \frac{D^2\pi}{4}$. Der im Kessel dieser Kraft entgegenwirkende Widerstand ist die Festigkeit des Materials in einem ganzen Cylinderschnitt, also der Umfang multiplicirt mit der Dicke und Festigkeit des Materials $\pi\ (D + \delta)\ \delta\ .\ K$. Im Augenblicke des Bruches werden wieder die Kraft und der Widerstand gleich sein, also:

$$P \cdot \frac{D^2\pi}{4} = \pi\,\delta\ (D + \delta)\ K,$$

also ist:

$$P \cdot \frac{D^2}{4} = \delta\, D \left(\frac{\delta}{D} + 1\right) K,$$

$$P \cdot \frac{D}{4} = \delta \left(\frac{\delta}{D} + 1\right) K.$$

Da die Grösse $\frac{\delta}{D}$ in der Regel sehr klein ist, so kann sie vernachlässigt werden und wir erhalten:

$$\frac{P\ .\ D}{4} = \delta K \text{ oder } \delta = \frac{P\ .\ D}{4K}.$$

Für δ in der Formel, für die Festigkeit in der Längsrichtung hatten wir $\delta = \frac{P\ .\ D}{2K}$, wir sehen also, dass bei gleicher

Blechdicke, demselben inneren Druck und Durchmesser, ein cylindrischer Kessel in dem Querschnitt doppelt so stark ist, wie in der Längsrichtung.

Hieraus muss jedoch nicht der Schluss gezogen werden, dass für einen cylindrischen Kessel die Wahrscheinlichkeit des Berstens in der Längsrichtung grösser sein müsste, als quer durch die Ringe. Viele Explosionen finden in dieser Weise statt, und deren Ursache wird noch später an geeigneter Stelle unter dem Capitel „Abnutzung der Kessel“ behandelt werden.

Es sei hier erwähnt, dass in den meisten Experimenten über die Festigkeit von Metallen das Material nicht gleichzeitig in der Richtung der Faser und senkrecht dazu belastet wird, während in den, einen Kessel bildenden Platten eine gleichzeitige Spannung in beiden Richtungen stattfindet. Hier wirft sich die Frage auf, ob durch diesen Umstand die Festigkeit des Materials beeinflusst wird, und in wie weit wir berechtigt sind, die einfachen absoluten Festigkeitscoefficienten in der Berechnung der Stärke eines Cylinders zu benutzen. Diese Frage ist durch die besonders für diese Zwecke ausgeführten Experimente von Navier mit schmiedeeisernen Kugeln, sowie durch langjährige Erfahrung mit Dampfkesseln vollständig dahin entschieden, dass die Festigkeit des Materials nicht beeinflusst ist, wenn dasselbe gleichzeitig in allen Richtungen gespannt ist, und seine Widerstandskraft ist dieselbe, als ob die Inanspruchnahme nur in einer Richtung stattfände.

Eine Tabelle über die Festigkeit von schmiedeeisernen Kesseln von verschiedenen Dimensionen wird später folgen.

Aeusserer Druck.

In der Betrachtung über den äusseren Druck, dem ein Cylinder oder ein Rohr zu widerstehen vermag, kann derselbe als ein Gewölbe aufgefasst werden. Da der Druck von allen Seiten gegen den Umfang derselbe ist, so sollte die Form des letzteren sich selbst in allen Punkten gleich, d. h. ein Kreis sein. Theoretisch betrachtet würde, wenn die Form absolut genau die Kreisform wäre, und der Materialwiderstand ganz gleichmässig in allen Theilen derselbe, der äussere Flüssig-

keitsdruck das Bestreben haben, den Durchmesser des Cylinders zu verringern. Sobald die Zusammendrückbarkeit des Materials überschritten, würde es von der Eigenschaft des Materials und anderen Umständen abhängen, ob die Wandstärke in demselben Verhältniss zunimmt, wie der Durchmesser sich verringert, oder aber ob das Material in der Längsrichtung, also vertical zur Druckrichtung, ausgedehnt wird, und sich also der Cylinder verlängert.

Der gegen zwei gegenüberliegende Seiten des Cylinders wirkende Druck mit dem Bestreben, dieselben zusammenzudrücken und die hierzu rechtwinkeligen Seiten herauszutreiben, wird von dem hier wirksamen Materialwiderstand aufgehoben, und der gesammte äussere Druck einerseits und der Widerstand andererseits befinden sich in allen Theilen des Umfanges im Gleichgewicht.

Ist jedoch die Form und das Material des Cylinders nicht vollkommen, und dies ist in der Praxis stets der Fall, besonders bei Röhren von bedeutendem Durchmesser im Verhältniss zur Wanddicke, so ist das Gleichgewicht gestört, und das Bestreben des äusseren Druckes ist die Vergrösserung der Abweichung von der Kreisform, und in Folge dessen wird ein Zusammendrücken durch übermässigen Druck stattfinden.

Der zusammengedrückte Cylinder kann verschiedene Formen annehmen und richtet sich dies nach der ursprünglichen Form und der Ungleichmässigkeit im Material.

Wir haben oben gezeigt, dass die Stärke eines Cylinders, bei dem inneren Druck, von der Länge desselben unabhängig ist, wenn man die durch die Endplatten gewährte Unterstützung unberücksichtigt lässt. Anders verhält es sich jedoch mit dem Cylinder unter äusserem Druck. Die Widerstandsfähigkeit desselben wird durch die Länge sehr wesentlich beeinflusst.

Die wichtige Rolle, welche die Länge eines Cylinders in dessen Widerstandsfähigkeit gegen äusseren Druck spielt, ist nicht so allgemein bekannt, wie es die Wichtigkeit des Gegenstandes wünschenswerth macht. Bis vor wenigen Jahren war derselbe gänzlich unbekannt, und wurde erst durch Experimente festgestellt. Wenn wir berücksichtigen, dass der innere Druck das Bestreben hat, jede Abweichung von der Kreisform zu verhindern, während der äussere Druck dieselbe stets verschlimmert, so wird es sofort klar sein, wo die Uebereinstim-

mung der beiden Fälle in Bezug auf den Einfluss der Länge aufhört. Wäre der Cylinder unter äusserem Druck theoretisch vollkommen, sowohl in Bezug auf Form als auch auf Material, so würde die Länge allerdings die Widerstandsfähigkeit desselben nicht beeinträchtigen, wenn wir von der Unterstützung, welche die Enden gewähren, absehen, und dieser Einfluss ist immer nur ein verhältnissmässig geringer. Ein solcher theoretischer Cylinder unterstützt sich in sich selbst, und bis hierher sind die beiden Fälle analog. Bei der geringsten Abweichung aber von der theoretischen Form, auf welcher dieses Selbstunterstützungsprincip beruht, ändern sich jedoch die Verhältnisse, und hier ist es, wo die Unterstützung durch die Enden eine wichtige Rolle spielt, in der Erhaltung der Form des Cylinders.

Der Werth dieser Unterstützung wird sich in dem Maasse vermindern, wie sich die Entfernung vergrössert, und wir können deshalb die Oberfläche eines cylindrischen oder ovalen Rohres als einen an beiden Enden unterstützten Träger betrachten, auf welchem die Last gleichmässig vertheilt ist. Die Stärke des Rohres wird sich demnach nach den Gesetzen für die Stärke von Trägern richten. Ein beliebiger Streifen von der Breite l zur Berechnung der Stärke muss jedoch als Träger von unbestimmtem Querschnitt angesehen werden, erstlich in Folge der gekrümmten Querschnittsform, und zweitens wegen der Unterstützung, die derselbe von dem anliegenden Material erhält. Die Formel, welche gewöhnlich zur Berechnung der Stärke cylindrischer Rohre unter äusserem Druck benutzt wird, ist nach einer Reihe werthvoller Experimente von Sir William Fairbairn entwickelt, und in der zweiten Auflage seiner „Useful Information for Engineers“ wie folgt gegeben:

Für englisches Maass:

$$P = 806300 \frac{\delta^{2,19}}{LD} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Für Metermaass umgerechnet:

$$P = 569870 \frac{\delta^{2,19}}{LD} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1a)$$

Eine Modification dieser Formel ist für englisches Maass:

$$P = 33{,}61 \frac{(100\,\delta)^{2,19}}{LD} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

und für Metermaass:

$$P = 3680 \cdot \frac{\delta^{2,19}}{L\,D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\,a)$$

Zur Vereinfachung der Rechnungsoperation kann man die Formeln (2 und 2 a) schreiben:

Für englisches Maass:

$$log\ P = 1{,}5265 + 2{,}19\ log\ 100\ \delta - log\ L\ D,$$

für Metermaass:

$$log\ P = 3{,}56577 + 2{,}19\ log\ \delta - log\ L\ D.$$

In obigen Formeln gelten folgende Bezeichnungen:

P der Druck in Kilo pro Quadratcentimeter resp. Pfund pro Quadratzoll, bei welchem das Rohr zerstört wird. δ die Blechdicke in Millimetern resp. Zollen. L die Länge in Centimetern resp. Fuss und D der Durchmesser in Centimetern resp. Zollen.

2,19. Potenzen von δ, wenn in Millimetern gegeben:

Zahl	2,19. Potenz	Zahl	2,19. Potenz	Zahl	2,19. Potenz
4	20,8215	10	154,882	16	433,5336
5	33,90832	11	190,8358	17	495,0876
6	50,6001	12	230,0891	18	561,1082
7	70,9193	13	275,1287	19	631,6424
8	95,0095	14	323,6088	20	706,7337
9	123,2517	15	376,3916		

2,19. Potenzen von δ, wenn in Bruchtheilen von Zollen gegeben:

Zahl	2,19. Potenz	Zahl	2,19. Potenz	Zahl	2,19. Potenz
3/16	0,02558	11/32	0,09646	1/2	0,21915
7/32	0,03585	3/8	0,11671	17/32	0,25027
1/4	0,04803	13/32	0,13908	9/16	0,28364
9/32	0,06216	7/16	0,16358	5/8	0,35725
5/16	0,07829	15/32	0,19027	11/16	0,44017

An Stelle der Potenz 2,19 wird häufig das Quadrat der Blechdicke benutzt, als für die Praxis von ausreichender Genauigkeit. Das Resultat ist natürlich in dem Falle, wo ein gewöhnlicher Bruch, wenn also δ in Zollen gegeben, für die Blechdicke benutzt wird, etwas grösser. Für gewöhnliche einfach genietete Röhren sind die Resultate für das Quadrat der Blechdicke der Wahrheit näher, als die genauere Rechnung, wie sich durch die Erfahrung gezeigt hat, es muss jedoch erwähnt werden, dass die Experimente mit Röhren von nicht mehr als 15 Durchmessern zur Länge angestellt wurden. Theoretisch ist, wenn die Länge des Rohres grösser ist, der Druck, bei welchem dasselbe zerstört wird, geringer als das Resultat der Formel. Dieser Umstand bezieht sich jedoch hauptsächlich nur auf die kleineren, aus dem Ganzen angefertigten Messing- und Eisenrohre. Wenn das Rohr aus Ringen zusammengesetzt ist, so bieten schon die Nietnähte hinreichend genügende Festigkeit, da das Rohr durch dieselben gewissermaassen in eine Anzahl kürzerer Theile zerlegt wird.

Wenn diese Ringnähte nur hinlänglich kräftig ausgeführt werden, und dies ist von grosser Wichtigkeit, so theilen dieselben die Rohrlänge höchst effectvoll, und man braucht in der Formel nur die Länge jedes Rohrtheiles in Rechnung zu bringen. Das Wichtigste hierin ist, dass man bei demselben Durchmesser geringere Blechdicken anwenden kann.

Wenn man berücksichtigt, dass schon eine geringe Abweichung von der Kreisform die Stärke des Rohres wesentlich beeinflusst, so wird es einleuchten, dass Längsnähte mit Ueberlappung einen schädlichen Einfluss haben müssen.

In den oben bereits erwähnten Experimenten wurden zwei Rohre von 37″ Länge, 9″ Durchmesser und $\frac{1}{8}$″ Wandstärke benutzt, eines mit Ueberlappung einfach genietet, das andere mit Stossnaht und einem einfachen Deckstreifen in den Längsnähten. Das Resultat zeigte einen Verlust von mehr als $\frac{1}{3}$ in Stärke für das Erstere, im Vergleich zum Letzteren, das Verhältniss war beinahe genau wie 7 : 10. Dieses beweist aufs Entschiedenste, wie selbst in einem kurzen Rohre, dessen Länge nur viermal so gross war wie sein Durchmesser, eine Ueberlappungsnaht die Festigkeit beeinträchtigt, selbst wenn, wie hier, die Abweichung vom Kreis nur $\frac{1}{36}$ des Durchmessers betrug. Die Nothwendigkeit, Rohre für hohen Druck ent-

weder zu schweissen, oder wenigstens mit Laschen zu vernieten, ist hierdurch aufs Klarste bewiesen. Da man in der Praxis gewöhnlich die Vorsicht gebraucht, die Längsnähte der einzelnen Ringe so zu legen, dass dieselben um einen viertel oder halben Kreis auseinander fallen, und, wie oben bemerkt, durch die Ringnaht eine grössere Stabilität erzielt wird, so scheint nach Experimenten der Druck, bei welchem das Rohr zerstört wird, dem in der Formel

$$P = \frac{806\,300\,\delta^2}{LD} \text{ (für englisches Maass) (3)}$$

und für Metermaass umgerechnet:

$$P = \frac{6\,800\,\delta^2}{LD} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3a)$$

sehr nahe zu kommen, in all den Fällen, wo die Form des Rohres nicht mehr als um die doppelte Metalldicke von der Kreisform abweicht.

Wenn die Bleche so arrangirt sind, dass dieselben kurze Ringe bilden, und liegen die Längsnähte einander gegenüber, so liegt die Schwäche des irregulären Cylinders nicht in einer Linie und das Rohr ist deshalb stärker, als ob die Bleche schmal und mit ihren Längsnähten in eine Horizontallinie gelegt wären, so dass vielleicht gar die Längsnaht von einem Ende zum anderen ginge. Aus diesem Grunde sollte dieses Arrangement nie getroffen werden, wenn man nicht einen sehr hohen Sicherheitscoefficienten gewählt hat, und auch dann nur, wenn unumgänglich nothwendig. In letzterem Falle muss stets $\delta^{2,19}$ in Rechnung gezogen werden.

Die Schwierigkeit, die genau cylindrische Form innezuhalten, vermehrt sich mit Verringerung des Verhältnisses zwischen Rohrdurchmesser und Blechstärke. Dieser Umstand wird in der Formel gar nicht berücksichtigt, Experimente haben jedoch erwiesen, dass dies vernachlässigt werden kann, so lange der Durchmesser 150 Blechdicken nicht übersteigt.

Um zu beweisen, dass die Formel von Fairbairn, hergeleitet aus Experimenten im kleinen Maassstabe, auch für grosse Dimensionen richtig ist, führt derselbe in seinem Werke „Useful Information for Engineers“ Experimente mit zwei grossen Kesseln auf. Die Dimensionen sind folgende: Länge 35′ und 25′, Durchmesser in beiden Fällen 3′ 6″, Blechdicke $^3/_8$″. Das 35′ lange Rohr wurde bei einem Druck von 97 Pfund pro

Quadratzoll zerstört, während das 25′ lange Rohr erst bei 127 Pfund pro Quadratzoll zerstört wurde. Nach Formel Nro. I hätte der Druck im ersten Falle 64 Pfund, im zweiten 89 Pfund sein sollen. Benutzt man das Quadrat der Blechdicke, so ergiebt sich für das erste Rohr 78 Pfund, für das zweite Rohr 109 Pfund; diese letzteren Resultate stimmen mit den Experimenten besser überein.

In einem im Betriebe befindlichen Kessel ist die Form eines horizontalen Flammrohres ohne Zweifel etwas verändert durch die Wärme, da dieselbe oben stärker wirkt als unten. Die Wirkung der durch die Wärme hervorgerufenen Expansion auf einen Bogen, der frei auf seinen Enden ruht, wird die sein, denselben in der Höhe auszudehnen. In einem gewöhnlichen cylindrischen Rohre, mit einem allseitigen Druck von aussen, wird es jedoch von der ursprünglichen Form abhängen, ob die Wirkung der Wärme auf die obere Seite eine Vergrösserung des horizontalen oder verticalen Durchmessers zur Folge haben wird.

Die Einwirkung der Wärme auf die schon flache obere Seite des Rohres von etwas ovalem Querschnitt würde das Bestreben haben, die Kreisform wieder herzustellen, wenn sich das Rohr nicht allseitig unter gleichem Druck befände; die Wirkung ist jedoch eine andere, wenn der Druck rings umher derselbe ist. Die Wärme wird in diesem Falle dem Druck zu Hilfe kommen und dazu beitragen, die Seiten mehr und mehr horizontal herauszupressen. Sollte dagegen ursprünglich das Rohr flach in den Seiten sein, so würde die Wärme nur noch dazu beitragen, den verticalen Durchmesser zu vergrössern, und so wieder die Formänderung vergrössern. Hier kann nun die Frage aufgeworfen werden, ob die Richtung der elliptischen Form eines Flammrohres auf seine Festigkeit gegen das Zerdrücken Einfluss hat. Ohne Zweifel ist das Rohr mehr geschwächt, wenn der kleinere Durchmesser vertical ist, und liegt die Ursache wohl darin, dass der Widerstand, den die Enden gegen eine Längenausdehnung verursachen, schon dazu beiträgt, die obere Seite des Rohres flach zu formen, ausserdem bewirkt schon die Wärme, dass die oberen Platten dem Druck von aussen leichter nachgeben. Ferner wird sich der durch die verdrängte Wassermasse verursachte Druck, der am Boden am grössten ist, in einem vertical flachen Rohre mehr fühlbar machen, als wenn das Rohr seitlich zusammengedrückt wäre.

In elliptischen Röhren ändert sich der Widerstand gegen das Zusammendrücken umgekehrt wie der grösste Krümmungsradius. Die Schwäche derartiger Rohre wurde durch Fairbairn's Experimente aufs Klarste bewiesen. Ein Rohr von $14'' \times 10^1/_4''$ Durchmesser, 5′ lang und $^1/_8''$ Blechdicke, wurde schon bei 6,5 Pfund pro Quadratzoll zusammengedrückt. Ein anderes Rohr, $20^3/_4'' \times 15^1/_2''$ Durchmesser, 5′ 1″ lang und $^1/_4''$ Blechdicke, gab bei $127^1/_2$ Pfund nach. Diese Resultate beweisen, dass die allgemeine Formel auch für elliptische Rohre ausreichend genaue Resultate liefert, wenn man für D den grössten Krümmungsdurchmesser der Ellipse einsetzt, oder $D = \frac{2L^2}{S}$ nimmt, wobei L und S die grosse und kleine Ellipsenaxe darstellen.

Die verhältnissmässig geringe Widerstandsfähigkeit cylindrischer Rohre gegen äusseren Druck wird sich aus Obigem leicht ersehen lassen, und die Formeln geben uns hinreichenden Anhalt, um die grösste Länge eines cylindrischen Rohres zu finden, welches einen ebenso grossen Widerstand gegen das Zerdrücken besitzt, wie ein Kessel von gegebenen Dimensionen gegen das Zersprengen.

Nimmt man die Stärke c einer einfachen Nietnaht zu 1855,7 Kilo pro Quadratcentimeter an, nennt den Druck im Inneren des Kessels p, die Blechdicke δ^1 und den Durchmesser D', so ist nach Formel $\delta' = \frac{p\,D'}{2\,K}$:

$$p = \frac{2\,\delta'\,K}{D'} = \frac{3711{,}4\,\delta'}{D^1}$$

für den Kesselmantel mit innerem Druck.

Die Formel für P für Rohre mit äusserem Druck lautet $P = \frac{680\,000\,\delta^2}{L\,D}$. Bezeichnet man nun das Verhältniss $\frac{D}{D'}$ $\frac{\text{Kesseldurchmesser}}{\text{Rohrdurchmesser}}$ mit R und setzt $\delta' = \delta$, so ist:

$$\frac{p}{P} = \frac{3711{,}4\;L}{680\,000\,\delta} \cdot R.$$

Für denselben Kessel ist nun $p = P$ und demnach $L = \frac{183\,\delta}{R}$.

Benutzt man als ein Beispiel den Fall, dass der Durchmesser des Kesselmantels doppelt so gross sei, als der des

Flammenrohres, und setzt die Blechstärke $\delta = 1$ cm, so ist $L = 183 \times 1 \times 2 = 366$ cm Länge.

Hieraus folgt, dass, wenn die Länge des Kessels 366 cm nicht übersteigt, so ist der Kesselmantel und das Flammenrohr von gleicher Stärke. Da die Länge jedoch auf die Stärke des Mantels direct keinen Einfluss hat, so braucht das Flammenrohr nur in Längen von 366 cm mit hinreichenden Verstärkungsringen angefertigt zu werden, damit dasselbe für ein Verhältniss von Mantel zu Flammenrohr wie 2 : 1 für jede beliebige Länge mit dem Mantel gleich stark ist.

Die Kugel.

Aus dem, was bereits über die Wirkung des Dampfdruckes in einem geschlossenen Gefässe gesagt worden ist, wird es einleuchten, dass ein Gefäss, welches dem Druck in allen Richtungen gleichen Widerstand entgegensetzt, ein sich in seiner Oberfläche in allen Theilen gleiches sein muss. Diese Eigenschaft besitzt nur die Kugel, und ist dieselbe daher die für inneren Druck geeigneteste Form.

Die Kugel hat ferner die Eigenschaft, für eine bestimmte Oberfläche von allen Körpern den grössten Inhalt zu besitzen, und ein innerer Flüssigkeitsdruck hat daher das Bestreben, alle Körper der Kugelform zu nähern, und dieselben schliesslich in dieselbe überzuführen.

Durch Modification der Folgerungen, welche benutzt wurden, um zu beweisen, dass der innere Druck, welcher das Bestreben hat, einen Cylinder in der Längsrichtung zu zerstören, nicht durch den halben Umfang, sondern durch den Durchmesser gemessen wird, würden wir zu dem Resultate kommen, dass für eine Kugel nicht die Halbkugeloberfläche, sondern der grösste Kugelkreis zu wählen ist. Der Druck, welcher eine Kugel zu zersprengen im Stande wäre, lässt sich demnach wie folgt ausdrücken:

$$P \cdot \frac{D^2 \pi}{4}.$$

Die diesem Druck widerstehende Kraft ist die Festigkeit des Materials multiplicirt mit dem Querschnitt, und wird wie folgt ausgedrückt: $\pi \delta (D + \delta) K$.

In dem Augenblicke des Berstens müssen die Werthe dieser beiden Formeln gleich sein:

$$P \cdot \frac{D^2 \pi}{4} = \pi \delta (D + \delta) K,$$

woraus wir wieder wie für den Cylinder mit Vernachlässigung von $\frac{\delta}{D}$ die Formel erhalten: $\delta = \frac{PD}{4K}$.

Die Kugel besitzt daher bei gleichem Durchmesser und gleicher Blechstärke die doppelte Stärke eines Cylinders in der Längsrichtung. Das Stärkeverhältniss zwischen Kugel und Cylinder kann noch in anderer Weise behandelt werden: Nennt man den Durchmesser der Kugel 1, so ist der Umfang 3,14159 und der Querschnitt 0,7854. Ein Cylinder von demselben Durchmesser und gleichem Materialquerschnitt müsste 0,7854 lang sein, und die Länge der beiden Seiten addirt giebt 1,5708, also halb so gross als der Umfang der Kugel und also nur halb so stark. Diese Betrachtung lässt allerdings die durch die Cylinderenden bewirkte Verstärkung ausser Acht, letztere ist jedoch, wie bereits gezeigt wurde, für lange Cylinder nur gering.

In einem cylindrischen Kessel von durchweg gleicher Metallstärke mit halbkugelförmigen Enden sind letztere, als Theile einer Kugel betrachtet, ebenso stark gegen ein Zerreissen in der Querrichtung wie ein Cylinder von gleichem Durchmesser und gleicher Metallstärke, und doppelt so stark wie derselbe gegen einen Längsriss.

Hieraus folgt, dass diese Enden unnöthiger Weise stark sind im Verhältniss zum cylindrischen Theile des Kessels gegen ein Zerreissen in der Längsrichtung. Macht man daher die Enden mit einer Wölbung, deren Radius gleich dem Durchmesser des Cylinders ist, so sind dieselben Theile einer Kugel von doppelt so grossem Durchmesser als der Cylinder, und folglich ebenso stark wie derselbe. Bei dieser Anordnung wird das wenigste Material bei gleicher Stärke benutzt.

Verringert man die Wölbung der Enden, so reducirt man das Material in geringerem Grade als die Kraft, welche bestrebt ist, dasselbe zu vernichten. Die absolute Festigkeit der Enden wird deshalb bei geringerer Wölbung erhöht, die Widerstandsfähigkeit gegen das Ausbauchen jedoch verringert. Eine flache Endplatte wird auch mehr im Stande sein, den cylindrischen

Theil des Kessels zu unterstützen, als eine gewölbte, jedoch sollten die Enden nicht mit Rücksicht hierauf, sondern nur gegen Ausbauchen durch den inneren Druck construirt, und der cylindrische Theil des Kessels in sich selbst kräftig genug hergestellt werden.

Die Art und Weise, in welcher eine gewölbte Endplatte dem Ausbauchen widersteht, wird am besten verständlich sein, wenn dieselbe als ein Theil der Kugel betrachtet wird, welche dieselbe Oberflächenwölbung hat. Der radiale Druck hat hier ebenfalls die Wirkung, die Form des Kugelabschnittes zu erhalten, gerade als ob er auf eine volle Kugel wirkte, und die Endplatte wird erst dann nachgeben, wenn der Druck die absolute Festigkeit der Kugel, welcher der Abschnitt angehört, übertrifft, d. h. ein Druck, welcher im Stande sein würde, die volle Kugel zu zersprengen. Man wird also die verhältnissmässige Stärke einer gewölbten Endplatte und eines Cylinders durch Vergleich des Durchmessers der ersteren mit dem Radius des letzteren finden.

Die Kugel, und in etwas geringerem Grade der Cylinder, besitzt eine Eigenschaft, die diese Formen für Dampfkessel besonders werthvoll macht, und doch häufig übersehen wird. Es ist dies die Leichtigkeit, mit welcher sie sich bei localer Einwirkung von Wärme allseitig ausdehnt, und sich sowohl dem Einfluss der Wärme als der des Druckes anpasst, ohne schädliche Spannungen auf anliegende verhältnissmässig kalte Theile auszuüben, wodurch anderenfalls Undichtheit und endlich Bruch herbeigeführt werden würde.

Ebene Flächen.

Gewöhnlich macht man in der Construction von Kesseln von den sich im Gleichgewicht befindlichen Formen, der Kugel und dem Cylinder, so ausgedehnt wie möglich Anwendung, und ist dadurch in den meisten Fällen im Stande, die Construction ohne Anwendung von Versteifungen und Stehbolzen auszuführen. Bei der Benutzung ebener Flächen sind jedoch Verstärkungen der einen oder anderen Art unumgänglich nothwendig.

Selbst wenn ebene oder wenig gekrümmte Flächen hinreichende Festigkeit gegen das Zerreissen besitzen, ist es doch in den meisten Fällen nöthig, Verstärkungen anzubringen, um

einer ungünstigen Verbiegung und Formänderung vorzubeugen, die mit der Zeit dazu führen, das Material in Furchen zu biegen, schon lange ehe die wirkliche Festigkeit desselben bedeutend in Anspruch genommen wäre.

Die theoretischen Untersuchungen über die Festigkeit ebener Flächen, wie die der flachen Cylinderenden eines Kessels, sind mit nicht geringen Schwierigkeiten verbunden, und bedürfen der Kenntniss der höheren Mathematik. Hierzu kommt ferner, dass nach einer Reihe von Experimenten, welche der Verfasser Dieses im Herbst 1875 mit einem cylindrischen Gefässe von 760 mm Durchmesser und etwa 610 mm Länge mit flachen auf verschiedene Art mit dem cylindrischen Mantel verbundenen Enden ausführte, die praktischen Resultate sehr bedeutend von den nach den Formeln der besten Autoritäten berechneten abweichen. Die Formeln für die Festigkeit plattenförmiger Körper nach Grashof, „Festigkeitslehre“, Rankine's „Civil Engineering“ und Lame's „Theorie des Curvilignes Coordonées“, alle drei aus theoretischen Betrachtungen hergeleitet, stimmen in ihren Resultaten ziemlich genau überein, weichen jedoch sehr wesentlich von den praktischen Resultaten ab.

Die Versuche wurden mit einem Cylinder von folgenden Dimensionen ausgeführt. Länge 610 mm, Durchmesser 760 mm aus Blechen von 11,1 mm Dicke stumpf gegen einander gestossen und mit einer doppelt genieteten Lasche versehen. Die Endbleche hatten eine Dicke von 9,5 mm an dem einen und 14,3 mm am anderen Ende. Die Bruchbelastung des Materials, aus welchem die Endplatten angefertigt waren, ergab sich im Mittel zu 31,5 Kilo pro Quadratmillimeter mit einer Ausdehnung von 7 Proc. Die 9,5 mm Endplatte war umgebördelt, die andere 14,3 mm Platte durch einen starken äusseren Winkeleisenring mit dem Cylinder verbunden. Der Durchmesser der 9,5 mm Platte nach Abzug des Krümmungshalbmessers für den Flantsch betrug 710 mm, der Durchmesser der 14,3 mm Platte zwischen den Nieten 875 mm. Benutzt man für beide Platten die Formel von Grashof für eine Blechplatte, welche im Umfang eingespannt ist:

$$P = \frac{3\,\delta^2}{2\,r^2}\,K,$$

wenn P Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem die Platte zerstört wird, δ Dicke des Bleches in Millimetern,

r Radius in Centimetern, ferner K Bruchbelastung des Materials, so ist:

$$P = \frac{3 \,.\, 9{,}5^2}{2 \,.\, 35{,}5^2}\, 31{,}5 = 2{,}99 \text{ Kilo}$$

und:

$$P = \frac{3 \,.\, 14{,}3^2}{2 \,.\, 43{,}8^2}\, 31{,}5 = 5{,}03 \text{ Kilo.}$$

Bei einem mittelst einer Pumpe allmälig verstärkten hydraulischen Druck zerbarst die 14,3 mm starke Platte zuerst, und zwar bei einem Druck von 19,68 Kilo pro Quadratcentimeter. Der Riss ging durch die Nietlöcher völlig durch das Material etwa 380 mm lang, erstreckte sich aber in Rissen auf den ganzen Kreis, von Nietloch zu Nietloch, wodurch nachgewiesen ist, dass keine örtliche schwache Stelle im Bleche den Bruch herbeiführte.

Die grösste Ausbauchung vor dem Bruch betrug 45 mm.

Weder das Winkeleisen noch die Nieten hatten irgendwie gelitten, die 9,5 mm dicke Platte zeigte bei dem höchsten Druck eine Ausbauchung von 45 mm ohne Bruch, und ging bis auf 39 mm Ausbauchung zurück. Beim zweiten Experimente wurde die 14,5 mm dicke Platte durch eine 9,5 mm dicke ersetzt, während das Winkeleisen und die Nieten dieselben blieben. Der Durchmesser der Niete betrug 22,2 mm und die Theilung 57 mm. Dies Mal zerbarst diese neue Platte unter allmälig gesteigertem Druck bei 14,06 Kilo. Dieser Druck wurde ungefähr 2 Minuten ertragen, ehe der Bruch eintrat, welcher ähnlich wie in Nr. 1 der Nietreihe folgte. Vergleicht man diese beiden Resultate, so zeigt sich zur Gewissheit, dass die Festigkeit nicht dem Quadrat der Blechdicke proportional sein kann, sonst müsste die dünnere Blechplatte entweder bei 8,7 Kilo oder, diese als Basis angenommen, die dickere bei 31,7 Kilo zersprungen sein. In Experiment 3 wurde das Winkeleisen entfernt und eine nach einem Radius von 915 mm gewölbte Blechplatte mit nach aussen gerichtetem Flantsche, um dieselbe einnieten zu können, benutzt, ohne die andere alte Platte zu entfernen. Der Druck wurde nun so lange erhöht, bis die alte Platte zerbarst, jedoch gewährt dieser Versuch wegen eines Versehens am Manometer keine sicheren Resultate.

Für Experiment Nr. 4 wurden beide Enden abgeschnitten und eine nach innen gewölbte 9,5 mm dicke Platte in ein Ende eingenietet. In das andere wurde eine flache Platte mit Hilfe

eines inneren Winkeleisenringes von 75 × 75 × 12,7 mm mit Nieten von 11 mm Durchmesser bei 50,8 mm Theilung befestigt. Der Durchmesser der Platte zwischen den Löchern betrug 665 mm. Die vor dem Versuche für diese Blechplatte festgestellte Bruchbelastung ergab 31 Kilo pro Quadratmillimeter. Diese 9,5 mm dicke Platte zerbarst bei 26,08 Kilo pro Quadratcentimeter in einem Riss durch die Nietlöcher, die Ausbauchung bei dem höchsten Druck betrug 31,7 mm. Aus einem Vergleich dieses Experimentes und Nr. 2 scheint hervorzugehen, dass, wenn innere und äussere Winkeleisenringe benutzt werden, so ist der Druck nicht umgekehrt proportional dem Durchmesser, noch umgekehrt proportional dem Quadrate des Durchmessers.

Experiment Nr. 5 war gewissermaassen eine Wiederholung von Nr. 3 und angestellt, um die Bruchbelastung für Druck für eine ebene umgebördelte Blechplatte festzustellen. Der innere Radius der Biegung war ungefähr 25 mm, so dass der flache Theil der Platte 690 mm Durchmesser hatte. Die Bruchbelastung auf Zug dieser Platte betrug 33,2 Kilo pro Quadratmillimeter bei 7,9 Proc. Ausdehnung. Bei einem Druck von 21,1 Kilo wurde ein Geräusch vernommen, als ob Bruch eingetreten wäre, die Ausbauchung war hier etwa 38 mm. Der Druck wurde jedoch bis auf 26,7 Kilo erhöht, ehe der Riss zu gross wurde, um weiter fortfahren zu können; die Ausbauchung betrug hier 47,6 mm. Bei einer Untersuchung zeigte sich, dass die Platte in der Biegung in drei Stellen zerrissen war. Bei diesem Experimente wurden die Ausbauchungen vorsichtig gemessen und notirt. Bei 0,703 Kilo betrug dieselbe 1,6 mm, aber nachdem der Druck aufgehoben wurde, nahm die Platte ihre ebene Gestalt wieder ein. Bei 1,758 Kilo betrug die Ausbauchung 3,17 mm, nach Aufhebung des Druckes konnte keine Spur von permanenter Formänderung entdeckt werden. Bei 2,81 Kilo betrug die Ausbauchung 4,76 mm, auf 0 zurückgegangen nahm auch die Platte vollständig ihre ebene Gestalt wieder ein. Selbst noch bei 3,51 Kilo zeigte sich trotz der 6,35 mm unter Druck keine Spur von Ausbauchung bei 0 Kilo. Bei 4,57 Kilo betrug dieselbe 9,5 mm, und bei aufgehobenem Druck zeigte sich eine permanente Ausbauchung von 2,4 mm. Zwischen 3,5 Kilo und 4,57 Kilo war also die Elasticitätsgrenze überschritten worden und eine permanente Ausbauchung eingetreten. Dies ist aber ungefähr der Druck, bei welchem nach

Rankine und Grashof die Platte hätte bersten sollen. Die nach einem Radius von 910 mm gewölbte 9,5 mm dicke Platte zeigte bei dem höchsten Druck nur eine Ausbauchung von 1,5 mm und nahm ihre Form völlig wieder ein bei reducirtem Druck.

Die Folgerungen, welche sich aus diesen Experimenten ziehen lassen, sind:

1. Trotzdem der Druck, bei welchem Bruch eintritt, sehr hoch ist, so muss doch gegen nicht verankerte Endplatten deshalb gewarnt werden, weil fast sofort ein Ausbauchen, selbst bei sehr geringem Druck, stattfindet; beim Aufheben des Druckes nimmt die Platte ihre frühere Form wieder ein, dies wiederholt sich im geringeren oder höheren Maasse bei jeder Aenderung des Druckes im Kessel, und führt zum endlichen Bruch in der Biegungsstelle.

2. Gewölbte Endplatten sind bedeutend stärker als ebene Endplatten.

3. Diese Experimente beweisen, dass die Art und Weise der Befestigung einer Endplatte durch umgebördelten Flantsch, inneren oder äusseren Winkeleisenring einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit der Platte ausübt. Wenn die Platte mittelst eines Winkeleisenringes befestigt ist, so concentrirt sich die Spannung unter Druck gewissermaassen in der Linie der Nietreihe. Dies erklärt auch, dass die Stärke in diesem Falle nicht proportional dem Quadrate der Blechdicke ist. Die Spannungen in den verschiedenen Schichten des Bleches sind sehr verschieden, und noch mehr in dicken als in dünnen Blechen. Wenn die Platte dagegen geflantscht ist, so werden die äusseren Schichten in der Biegung dicht am Flantsch unter Druck comprimirt, die inneren gestreckt, und die Platte wird schliesslich in dieser Linie durch eine Combination der beiden Spannungen zerstört.

4. Schliesslich beweisen diese Experimente, dass die von Lamé, Rankine und Grashof theoretisch abgeleiteten Formeln mit der Praxis nicht übereinstimmen, und in Folge dessen nicht zuverlässig sind, jedoch sind sie anderseits nicht vollständig genug, um daraus allgemein gültige Resultate ableiten zu können. Es mag hier allerdings erwähnt werden, dass in diesen theoretischen Abhandlungen die Platte als zwischen zwei Ringen eingespannt zu denken ist. Da dieser Fall jedoch in der praktischen Construction sehr selten vorkommt, und überdies dieser geringe Unterschied in der Be-

festigung der Platten so viel nicht ausmachen kann, und selbst wenn dies der Fall ist, so haben die Formeln eben wenig Werth, weil sie den am häufigsten vorkommenden Fall ausser Acht lassen.

Zur Verstärkung der flachen Endplatten in Kesseln wendet man verschiedene Methoden an. Man befestigt entweder horizontal Anker an der vorderen und hinteren Wand mit Hilfe von Winkeln- oder T-Eisen, jedoch sind diese häufig im Wege, und auch wegen ihrer bedeutenden Länge und folglich nicht geringen Ausdehnung unter Druck weniger zu empfehlen, als die Verankerung mittelst Blechplatte und Winkeleisen. Diese letzteren Blechplattenanker stellt man gewöhnlich radial zum Kesselmantel, um das Oeffnen oder Schliessen der Winkeleisenstücke zu umgehen. Die Anwendung eines auf die flache Endplatte genieteten T-Eisens oder doppelten Winkeleisens ist durchaus ungenügend, weil dadurch der ganze auf die Platte wirkende Druck in den Endpunkten des T-Eisens auf das Blech übertragen wird.

Die Decken von Feuerkisten werden gewöhnlich durch Deckbarren oder auch durch verticale Stehbolzen gegen den äusseren Mantel verankert.

Der ebene Theil zwischen zwei Verankerungen muss als ein rechtwinkeliger Träger, welcher an beiden Enden eingespannt und gleichmässig belastet ist, angesehen werden. Der Druck hat das Bestreben, die Platte zwischen den Ankerreihen zu zerreissen.

Wenn wir die Verstärkung durch die Befestigung an den Enden vernachlässigen, so können wir die Formel für gewöhnliche Träger benutzen. Bezeichnet:

W die gleichmässig vertheilte Last auf Träger,
l die Breite des Blechstreifens zwischen den Ankerbolzen,
b die Länge der Blechplatte,
δ die Dicke derselben,
C die Bruchbelastung,
P der Druck in Kilo pro Quadratcentimeter,

so ist: $$\frac{Wl}{2} = C b \delta^2,$$

und da $$W = P l b,$$

so ist ferner: $$\frac{Pl^2}{2} = C \delta^2.$$

Auf diesen Gegenstand kommen wir noch weiter im sechsten Capitel über „Construction der Kessel“ zurück.

Drittes Capitel.

Die Eigenschaften der Dampfkesselmaterialien.

Gusseisen.

Gusseisen ist der Name eines Materials, dessen physikalische Eigenschaften sehr bedeutenden Schwankungen von Sprödigkeit, Härte und Zähigkeit unterworfen sind. Manche Arten Gusseisen sind so spröde und hart, dass es fast unmöglich ist, dieselben zu bearbeiten; zu Zeiten findet man, oder besser fand man, unter diesem Namen ein Material von so bedeutender Zähigkeit, dass sich dasselbe mit dem Meissel bearbeiten und selbst unter Druck biegen liess, fast so gut wie viele unter dem Namen Schmiedeeisen verkäufliche Materialien. Dass Gusseisen ein für den Kesselbau untaugliches Material ist, dazu bedarf es kaum eines weiteren Beweises, seit es seine frühere Stelle für diesen Zweck nach jahrelangen Erfahrungen fast gänzlich hat räumen müssen. Und doch, trotz seiner fast allgemeinen Verurtheilung, muss man zugeben, dass dasselbe Vorzüge besitzt, die, für sich betrachtet, es als ein sehr wohlberechtigtes Material aus der nur geringen Zahl von Kesselmaterialien erscheinen lassen.

Erstens der geringe Preis, verbunden mit der Leichtigkeit der Bearbeitung, weisen dem Gusseisen einen der ersten Plätze unter den Constructionsmaterialien an, und sind zweifellos die Ursachen seiner so ausgedehnten Anwendung selbst für Dampfkessel in den frühen Jahren des Maschinenbaues gewesen. In seiner Widerstandsfähigkeit gegen die zerstörende Einwirkung der Flamme im Kesselfeuer, sowie der der atmosphärischen Luft noch durch Feuchtigkeit unterstützt, ist es, wenn von

geeigneter Qualität, dem Schmiedeeisen überlegen. Ein Gleiches gilt für die Zerstörung durch Rost in Folge von schlechtem Speisewasser und säurehaltigen Verbrennungsgasen.

Die geringere Stärke desselben kann kaum als Hinderniss gegen die Anwendung für Gefässe mit innerem Druck aufgeführt werden, wenn wir bedenken, dass die Stärke eines Kessels z. B. ebenso sehr von den Dimensionen und der Form desselben, als von der Festigkeit des Materials abhängig ist. Die bedeutende Anwendung von Gusseisen für Gefässe, welche sehr hohen Druck auszuhalten haben, wie Wasserleitungsrohre, hydraulische Pressen und selbst Kanonen, beweisen, dass geringe absolute Festigkeit allein nicht als Ursache gegen die Benutzung als Kesselmaterial aufgeführt werden kann, weil alle Nachtheile, welche hieraus erwachsen, durch ungleich grössere Vortheile in anderen Beziehungen hinlänglich gedeckt werden.

Als ein Beispiel, dass die Bruchfestigkeit eines Materials allein dasselbe nicht, selbst für hohen Druck, zu verdrängen im Stande ist, erwähnen wir die ausgedehnte Anwendung kupferner Locomotivfeuerkisten, trotzdem gerade für ebene Flächen dieses Material am wenigsten geeignet ist, hohem Druck zu widerstehen. In diesem Falle opfert man alles Andere für Dehnbarkeit, Biegsamkeit und hohes Wärmeleitungsvermögen.

Wählt man die Durchmesser im Verhältniss zur Stärke des Materials, so kann man gusseiserne Kugeln und Cylinder von gleicher Stärke und Metalldicke wie schmiedeeiserne construiren.

Der Unterschied zwischen der Stärke von guss- und schmiedeeisernen Gefässen in der Form, welche für jedes Material in Folge der besonderen Eigenschaften desselben die günstigste ist, ist nicht so bedeutend, als man im ersten Augenblicke glauben möchte. Mit einfacher Vernietung können wir die Bruchbelastung *) der Nietnaht für gewöhnliche Bleche nicht höher als 19 Kilo pro Quadratmillimeter annehmen. Da nun die Bruchbelastung auf Zug für Gusseisen sich auf ungefähr 9,5 Kilo stellt, und ein gusseisernes Gefäss keine schwächende Nietnaht besitzt, so würde eine gusseiserne Kugel

---

*) In diesem Capitel ist unter „Bruchbelastung“ stets die Bruchbelastung für Zug, also auf absolute Festigkeit beansprucht, zu verstehen.

von gleichem Durchmesser wie ein schmiedeeiserner Cylinder mit letzterem gleiche Stärke gegen inneren Druck besitzen. Werden jedoch beide Materialien in derselben Weise auf absolute Festigkeit in Anspruch genommen, so muss die Dicke des Gusseisens wegen seiner geringeren Stärke so weit vergrössert werden, dass schliesslich die Preise für Guss- und Schmiedeeisen sich gleich hoch stellen. Der Preis des Materials muss in diesem Falle im Verhältniss zur Festigkeit der fertigen Construction gemessen werden.

Suchen wir nun nach einer anderen Ursache als der geringeren absoluten Festigkeit, um die Verwerfung des Gusseisens, trotz seiner anderweitigen zahlreichen Vorzüge, zu erklären, so werden wir finden, dass die grosse Abneigung gegen die Anwendung desselben, trotz der eifrigsten Bemühungen von manchen Seiten, dieselbe zu unterdrücken, der Sprödigkeit und Unzuverlässigkeit dieses Materials zuzuschreiben ist.

Ausser der Unsicherheit in der Metallstärke durch fehlerhaftes Formen, und die ungleiche Spannung verschiedener Theile desselben Gussstückes, welche man meist verborgenen Ursachen im Giessen und Abkühlen zuschreibt, können sehr unbedeutende verborgene oder auch Oberflächenfehler in einem anderweitig gesunden Gussstück zuweilen zu plötzlichen und sehr gefährlichen Brüchen Ursache geben.

Ausserdem giebt das Gusseisen vor dem Bruch selten Anzeichen von Schwäche, wie solche gewöhnlich der Zerstörung schmiedeeiserner Constructionen vorangehen. Die Unzuverlässigkeit in der Anwendung in grösseren Massen wird noch bedeutend in den Fällen erhöht, wo das Material den oft plötzlichen und ungleichen Spannungen in Folge von Ausdehnung und Contraction ausgesetzt ist, durch bedeutende Temperaturänderungen verursacht, denen jedes zur Erzeugung von Dampf benutzte Gefäss besonders unterliegt.

Diesen Ursachen muss die Abneigung gegen Verwendung von Gusseisen zugeschrieben werden, und kommt hierzu noch die Furcht vor den gefährlichen Folgen, welche wahrscheinlich die Ursache der Explosion eines gusseisernen, mit einer bedeutenden Masse heissen Wassers gefüllten Kessels sein würden, und die vielleicht am besten mit der Explosion einer Granate zu vergleichen sein möchten. Wenn schmiedeeiserne Kessel explodiren, so halten gewöhnlich grössere Massen des Bleches zusammen und mildern dadurch die gefährlichen Folgen.

Nur wenn diese beiden oben angeführten Gründe gleichzeitig in Betracht kommen, 1) Unzuverlässigkeit des Materials, wenn gefährlichen Spannungen ausgesetzt, 2) Furcht vor Explosion, wenn das Gefäss grosse erhitzte Wassermassen enthält, verdammt man im Allgemeinen das Gusseisen als unbrauchbares Material, wie aus folgenden Bemerkungen hervorgehen wird:

1. Um die gefährlichen Folgen, welche durch die Explosion eines mit einer grossen Wassermasse gefüllten gusseisernen Gefässes zu erwarten sind, zu mildern, hat man verschiedene Segment-Kessel aus Gusseisen ausgeführt. Dieselben sind aus einer grossen Anzahl kleiner, entweder kugel- oder cylinderförmiger Stücke zusammengesetzt, und die Vertheidiger dieser verschiedenen Systeme behaupten, dass im Falle einer Explosion die Folgen sehr unbedeutend sein würden, da bei der Explosion eines dieser kleinen Gefässe der Dampf einen Ausweg gefunden, und nun aus dem ganzen Systeme langsam entweichen kann. Aus diesem Grunde werden gusseiserne Dampferzeuger ohne Beunruhigung angewendet, und kommt dabei noch hinzu, dass die ungleichen Spannungen und folglich die Gefahr der Zerstörung in kleinen Gefässen weit geringer sind als in grossen.

2. Es befinden sich einige gusseiserne Kessel mit inneren schmiedeeisernen Heizrohren in Gebrauch, deren Bruch oder Explosion eine hinreichend grosse Dampf- und Wassermasse befreien würde, um sehr gefährliche Folgen zu haben; trotzdem arbeitet man mit denselben ohne die Gefahr einer Explosion zu fürchten, weil sie nicht den plötzlichen Temperaturänderungen unterworfen sind, da die Feuerung von innen durch die schmiedeeisernen Rohre geschieht. Nichtsdestoweniger wird auch in diesen Kesseln eine bedeutende Temperaturverschiedenheit zwischen dem oberen und unteren Theile des Mantels stattfinden, besonders wenn man den Kessel nach dem Füllen mit kaltem Wasser wieder in Betrieb setzt, und ist die hierdurch erzeugte Spannung durchaus nicht gering zu schätzen.

3. Wenn das Gusseisen auch nicht direct bei der Construction des Dampfkessels verwandt wird, so wird dasselbe doch fast stets, mit wenigen Ausnahmen, wie bei Schiffskesseln, zu Dampfleitungen benutzt, welche den Dampf dem Cylinder zuführen, und hat somit den vollen Kesseldruck auszuhalten. Die Cylinder, selbst aus Gusseisen angefertigt und oft von grösserem Durchmesser als Dampfkessel, dürfte man für

thörichte und gefährliche Constructionen halten, jedoch ist hierfür die Erklärung leicht gefunden. Im Dampfcylinder ist die Temperatur verhältnissmässig gleichförmig, wir haben nicht den Einfluss des Feuers und die kalten, durch die Feuerthür einströmenden Luftströmungen zu befürchten, welche das Material unzuverlässig machen, und sollte ein Bruch im Cylinder eintreten, eine durchaus nicht seltene Erscheinung, so ist die Quantität des darin enthaltenen Wassers, welches meistentheils die Ursache des Springens ist, so gering und von so niedriger Temperatur, dass die Folgen verhältnissmässig harmlos sind.

Ein grosses cylindrisches Gefäss in horizontaler Aufstellung mit einem lebhaften Feuer darunter und oben nur wenig erwärmt, würde durch die ungleiche Ausdehnung sehr bedeutende Spannungen auszuhalten haben. Ein sprödes und nicht nachgiebiges Material wie Gusseisen würde einen solchen Versuch nicht ohne Beschädigung aushalten können.

Soll ein grosser gusseiserner Cylinder einer hohen Temperatur ohne Gefahr ausgesetzt werden, so ist es nothwendig, dass die Wärme gleichmässig auf den ganzen Umfang wirkt, jedoch ist es nicht absolut nöthig, dass gleichzeitig die ganze Länge erwärmt wird, wenn nur die Wärmezu- und -abnahme nicht zu plötzlich stattfindet, und der Cylinder an den Enden frei steht, so dass derselbe sich beliebig verlängern und verkürzen kann. Ein solcher gusseiserner Cylinder ist daher weniger für die horizontale als die verticale Lage geeignet, und benutzte man früher häufig grosse cylindrische gusseiserne Kessel mit äusserer Feuerung in verticaler Aufstellung.

Um nun die Heizfläche zu vergrössern, ist die natürlichste Verfahrungsweise die, den Durchmesser zu verringern und eine grössere Anzahl verticaler Cylinder zu benutzen, wodurch gleichzeitig ein stärkerer, und besseren Effect gebender Kessel erzeugt wird. Von dieser Anordnung hat man neuerdings ausgedehnte Anwendung gemacht, und Dampferzeuger aus verticalen gusseisernen Röhren von 100 bis 150 mm Durchmesser für Dampfdruck von 5 bis 6 Kilo pro Quadratcentimeter construirt.

Ein anderer Grund, weshalb man gusseiserne Kessel und ähnliche Gefässe in kleineren Theilen ausführt, ist die Schwierigkeit, mit welcher sich Reparaturen ausführen lassen. Man ersetzt bei diesen Constructionen einfach den beschädigten

Theil, wodurch Zeit und Arbeit gespart und ein besseres Resultat erzielt wird.

Es wird zu Zeiten behauptet, dass Gusseisen nicht so leicht Kesselstein ansetze, wie Schmiedeeisen oder Kupfer. Mag dies nun vielleicht in gusseisernen Kugeln der Fall sein, wo der Kesselstein, wenn hinreichend dick und spröde, durch die ungleiche Ausdehnung desselben vom Metall lossspringt, so ist dies sicher nicht wahr von gusseisernen Röhren, welche sich innen dick mit Kesselstein überziehen, wenn schlechtes Speisewasser benutzt wird, und dieser Ueberzug scheint ausnehmend fest daran zu haften.

Nachdem wir gesehen haben, dass die jetzt gebräuchlichsten Constructionen der schmiedeeisernen Kessel mit grossen Durchmessern sich nicht ohne Gefahr aus Gusseisen herstellen lassen, dass jedoch letzteres Material sich in gewissen Constructionen mit Sicherheit anwenden lässt, so lässt sich die Frage aufwerfen, ob der Kessel der Gegenwart als Grund oder Ursache der Verwerfung des Gusseisens und allgemeinen Anwendung des Schmiedeeisens zu betrachten ist.

Wenn auf der einen Seite Leichtigkeit der Reinigung, Untersuchung und Ausbesserung sowohl, als auch ein sparsamer Brennmaterialverbrauch den jetzt gebräuchlichen Kessel zu dem günstigsten machten, so würde sich hieraus ohne Weiteres die Verwerfung des Gusseisens erklären lassen. Sollte jedoch auf der anderen Seite die Unzuverlässigkeit und andere ungünstige Eigenschaften des Gusseisens in irgend welcher Gestalt und Form seine Verwerfung mit Bevorzugung des Schmiedeeisens veranlasst haben, so würde das natürliche Resultat, ohne weitere Berücksichtigung der Sparsamkeit, die ausgedehnte Anwendung des Kessels von grossen Dimensionen, als die für die Herstellung aus Schmiedeeisen günstigste, gewesen sein. Es kann kaum einem Zweifel unterliegen, dass die letztere Folgerung die richtige ist.

Die grössere Leichtigkeit, mit der wir jetzt im Stande sind starke schmiedeeiserne Rohre von verschiedenen Durchmessern ohne Naht herzustellen, wird ohne Zweifel einen nicht geringen Einfluss auf den in Zukunft meistverwendeten Kessel ausüben, und mag in gewissem Maasse indirect den Weg zur Einführung von gusseisernen, aus kleineren Theilen bestehenden Kesseln anbahnen. In den letzten Jahren hat sich die Verwendung von Gusseisen im Kesselbau hauptsächlich

auf die grösseren Armaturentheile, die Dampfdome und Dampfbehälter beschränkt. Für die ersteren wird dasselbe zweifellos noch lange seinen Platz behaupten, weil es Vortheile besitzt, welche alle anderen Materialien übertreffen mit Ausnahme von Messing, jedoch verbietet der hohe Preis desselben die ausgedehntere Anwendung dieses Materials für stationäre Kessel.

In der Anwendung des Gusseisens für Armaturen sollte darauf Rücksicht genommen werden, dasselbe stets so anzuordnen, dass es nicht zu plötzlichen Variationen in der Temperatur unterworfen ist. Wenn es für Dampfdome und Rohre von grossem Durchmesser benutzt wird, so soll man stets einen grossen Sicherheitscoefficienten erlauben, und müssen Gussstücke dieser Art vor dem Gebrauch stets vorsichtig der hydraulischen Druckprobe unterworfen und anderweitig sorgfältig untersucht werden, um etwaige verborgene Fehler, wie dieselben in der Giesserei leicht verursacht werden können, sich jedoch der Entdeckung durch das blosse Auge oder durch den Klang nur zu häufig entziehen, zu entdecken. Ein besseres Beispiel von der Unzuverlässigkeit sonst gesunder Gussstücke lässt sich kaum geben, als das häufige, zuweilen sehr verderbliche Zerspringen von Dampfventilen in kaltem Wetter beim Oeffnen des Ventiles. Wenn der Dampf aus dem oberen Theile des Ventiles in den mit kaltem Wasser theilweise gefüllten unteren Theil eintritt, springt das Ventil wie Glas in Folge der ungleichen Ausdehnung, und wird selbst bei niedrigem Druck von weniger als 1 Kilo oft mit der grössten Heftigkeit zertrümmert.

Dies ist neben anderen ein Grund, weshalb eine Röhrenanlage stets mit einem sicheren selbstthätigen Entwässerungsapparat versehen sein sollte, so dass das Wasser jederzeit aus dem Ende, wo der Dampf eintritt, vollständig entfernt wird. Wenn man von einem Gussstück eine gewisse, besonders hohe Festigkeit verlangt, so ist es gebräuchlich, der Giesserei die Mischung des Roheisens vorzuschreiben. Ein sicherer und mehr befriedigender Weg ist jedoch der, die Probe anzugeben, welcher das fertige Gussstück widerstehen soll, und dem Giesser selbst die Mischung des Roheisens zu überlassen, welche in verschiedenen Districten ganz bedeutend variiren wird.

Das Beurtheilen der Qualität von Gusseisen nach dem Bruch ist keinesfalls eine leichte Sache, weil Gusseisen bester

und guter Qualität aus verschiedenen Gegenden auch sehr verschiedene Textur auf der Bruchfläche zeigt. Solche Fehler, wie poröses und blasiges oder glasartig hartes Eisen, die durch Unvorsichtigkeit in der Behandlung beim Formen oder Giessen verursacht sind, sowie die Gegenwart von Graphittheilchen im Inneren des Gusses, die auf schlechte Mischung hinweist, lassen sich leicht entdecken. Die stärksten Gusseisenarten sind meist von hellgrauer Farbe ohne viel Glanz, dicht und feinkörnig und manchmal marmorirt. Andere besitzen eine mehr faserige, zerrissene Textur von heller Farbe und zeigen sich bei sorgfältiger Untersuchung dicht und feinkörnig. Dagegen deutet ein schwärzliches oder bläuliches Grau mit grober offener Textur und geflecktem, glänzendem Bruch auf geringere schlechtere Eisenqualität.

Das Kupfer.

Das Kupfer besitzt, als Kesselmaterial mit dem Schmiedeeisen verglichen, eine Reihe von Vorzügen, welche es sehr erklärlich machen, dass dasselbe in früheren Jahren in so hohem Ansehen stand, und noch heute würde es viel verbreitetere Anwendung finden, wenn nicht gewisse Hindernisse im Wege ständen. Das Kupfer ist ein sehr homogenes, zuverlässiges Metall, frei von Blasen und Schiefern; es widersteht dem oxydirenden Einflusse und den zerstörenden Angriffen schlechter Kesselwasser und säurehaltiger Verbrennungsgase. Die meisten Kesselsteine haften nicht so fest an der Kupferfläche; es lässt sich in Folge seiner grossen Geschmeidigkeit und Schmiedebarkeit in alle möglichen Formen arbeiten und widersteht sowohl plötzlichen starken Spannungen, als auch oft wiederholten Biegungen ohne Schaden. Da das Kupfer ferner der beste Wärmeleiter ist, so lässt sich unter sonst günstigen Umständen eine hohe Verdampfung erzielen, und das Metall wird durch die hohe Temperatur über dem Roste wenig angegriffen.

Ehe man im Walzen gesunder schmiedeeiserner Platten in grossen Quantitäten die in den letzten Jahren erlangte Sicherheit hatte, wurde das Kupfer mit Recht für das passendste und zuverlässigste Kesselmaterial gehalten und wurde für diesen Zweck ziemlich ausgedehnt benutzt; ist jedoch seines hohen Preises und seiner geringen absoluten Festigkeit halber

schon längst durch Schmiedeeisen und Stahl verdrängt. Wäre es nicht der hohe Preis, so möchte es in Folge seiner grossen Haltbarkeit gegen zerstörende Speisewasser sicher in vielen Fällen, trotz der geringeren absoluten Festigkeit, Verwendung finden. Wenn man von verhältnissmässigen Kosten spricht, so darf nicht vergessen werden, dass man für altes Kupfer noch circa 120 Mark pro 100 Kilo erhält, während der Preis für 100 Kilo altes Eisen kaum 10 Mark beträgt. Kupfer erzielt demnach zwei Drittel und Eisen ein Drittel seines ursprünglichen Preises. Die Weichheit des Kupfers, wenn in verhältnissmässig reinem Zustande verwendet, verhindert die Anwendung desselben für die Rohre in Kesseln, welche mit Kohle und Coake gefeuert werden, für welchen Zweck es sonst seiner leichten Verarbeitung wegen sehr geeignet erscheinen würde.

Die Verwendung des Kupfers im Kesselbau beschränkt sich jetzt fast ausschliesslich auf die Feuerbüchsen und Stehbolzen von Locomotivkesseln. Trotzdem dasselbe, besonders wenn in ebenen Flächen angewendet, nur eine sehr geringe Festigkeit gegen Druck besitzt, hauptsächlich im Feuerraum, so legt man doch auf hohes Wärmeleitungsvermögen und Biegsamkeit in England und theilweise Deutschland so hohes Gewicht, dass man das Kupfer dem Eisen und Stahlblech für Locomotivfeuerbüchsen, wo das Material sehr hohen Wärmegraden und sehr verschiedenen Spannungen ausgesetzt ist, vorzieht. In Amerika und in mehreren Locomotivwerken hier benutzt man schon seit längerer Zeit mit gutem Erfolg Eisenbleche von nur etwa der Hälfte der Dicke der kupfernen; in Amerika auch in neuerer Zeit sehr viel Stahl mit gutem Erfolg*). Es unterliegt übrigens keinem Zweifel, dass die Durchschnittsqualität des Kupfers in den letzteren Jahren eine schlechtere geworden ist, vieles ist jetzt hart und spröde.

Eine schädliche Eigenschaft des Kupfers, verglichen mit Eisen und Stahl, ist die bedeutende Festigkeitsabnahme bei verhältnissmässig niedrigen Temperaturen. Aus einer Reihe von Experimenten, die von dem „Franklin Institut“ in Amerika ausgeführt wurden, ergab sich, von dem Gefrierpunkt des Wassers ausgehend, dass für jede Temperaturzunahme das Kupfer an absoluter Festigkeit verlor. Man fand z. B.,

---

*) Siehe Report of American Master Mechanics Association, Railroad Gazette, Juli 1877; ebenso Engineering, Vol. XXIV.

dass ein Kupferstab, der im kalten Zustande 5000 Kilo zu tragen im Stande war, wenn bis auf 238° C. erhitzt, nur noch 3750 Kilo trug, und bei 520° C., im Tageslicht rothglühend, war die Festigkeit bis auf fast $^1/_{10}$ der ursprünglichen reducirt.

Tabelle
über den Verlust an Festigkeit kupferner Kesselbleche, wenn erhitzt. Die Bruchbelastung derselben bei 0° C. betrug 23,1 Kilo pro Quadratmillimeter.

Temperatur in Graden Celsius	Festigkeitsverlust in Procenten	Temperatur in Graden Celsius	Festigkeitsverlust in Procenten
44,5	1,75	342,0	43,98
100	5,40	361	49,44
150	9,26	391	55,81
160	15,13	439,5	66,91
203	20,46	444,4	67,41
228	24,46	533,3	88,61
236,4	25,58	577,7	100,00
293,3	34,25		

Aus obiger Tabelle ist ersichtlich, dass beim Erhitzen vom Gefrier- bis zum Siedepunkte des Wassers das Kupfer schon 5 Proc. seiner Festigkeit einbüsst, bei 235° hat dasselbe bereits 25 Proc. verloren und bei 578° zerfällt dasselbe in eine körnig weiche, unzusammenhängende Masse ohne alle Festigkeit, trotzdem der Schmelzpunkt erst bei ungefähr 1100° erreicht ist.

Das Schmiedeeisen.

Das Schmiedeeisen ist das Material, welches in den letzten vierzig Jahren fast ausschliesslich für den Dampfkesselbau Verwendung gefunden hat. Die Ursachen hierfür liegen nicht fern, und sind bereits bei der Besprechung über die Eigenschaften des Gusseisens angedeutet worden. Die bedeutende absolute Festigkeit des guten Schmiedeeisens, verbunden mit Biegsamkeit und Dehnbarkeit, die Eigenschaft, starke und plötzliche Spannungen unverletzt zu ertragen, die allgemeine Zuverlässigkeit desselben, die Leichtigkeit, mit welcher es sich bearbeiten, biegen, schweissen, nieten und ausbessern

lässt, und der geringe Preis desselben im Vergleich zum Kupfer machen es zu einem höchst werthvollen Material zur Anfertigung solcher Gefässe, welche wie die Dampfkessel stets veränderlichen und zerstörenden Einwirkungen ausgesetzt sind. Dieselben erklären leicht die hohe Achtung und weit verbreitete Anwendung, welcher sich das Schmiedeeisen mit Recht erfreut.

Da es hauptsächlich in der Form von Platten oder Blechen für Kesselconstructionen in Anwendnng kommt, so wollen wir vor der Hand diese Form desselben näher betrachten, und die von nicht geringerer Bedeutung, als Walzeisen, später in Rücksicht ziehen. Als letzteres kommt es vorzugsweise als Winkeleisen und Stabeisen für Verstärkungsanker und dergleichen in Anwendung.

Wie wohl bekannt, werden schmiedeeiserne Bleche und Platten in den verschiedensten Qualitäten angefertigt, von den schlecht gepuddelten, grobkörnigen und meist spröden Platten von sehr ungleichmässiger Textur, die oft unter dem Namen „Schiffsplatten“ im Handel erscheinen, bis zu den feinsten und besten Sorten, wie „Best Yorkshire“ und Borsig's Werke, giebt es eine Unzahl von Varietäten. In dem Bestreben die geringsten Preise anbieten zu können, finden wir häufig Kessel, welche aus so schlechtem Material angefertigt sind, dass dasselbe kaum den Namen „Schmiedeeisen“ verdient, und die natürlichen Folgen hiervon sind dann fortwährende Unannehmlichkeiten, Reparaturen, pecuniärer Verlust im längeren Betriebe und endliche wahrscheinliche Zerstörung des Kessels. Es würde wahrlich sehr befriedigend sein, wenn es unnöthig wäre, die Behauptung aufzustellen, dass sogenannte „Schiffsbleche“ niemals als Kesselmaterial benutzt werden dürfen, weil dabei stets das Leben und Eigenthum des Käufers und Personals in Gefahr versetzt wird.

Während einer Reihe von Jahren haben gewisse Fabrikmarken einen ausgezeichneten Ruf für Kesselbleche gehabt, und sei es gesagt, in vielen Fällen verdientermaassen. Im Allgemeinen wird man sicher sein, eine gute Qualität Blech zu erhalten, wenn man seinen Bedarf von solchen Werken bezieht, in welchen man nur die besten Qualitäten anfertigt; es kann jedoch nicht genug Sorgfalt auf die Wahl der Bleche verwendet werden, da selbst die bestrenommirten Firmen manchmal Bleche von geringerem Werthe in den Markt brin-

gen, und kann deshalb der blosse Name als eine Garantie für die Güte nicht angesehen werden*).

Die besten Eisenbleche werden einzig und allein deshalb nicht allgemeiner verwendet, weil der Preis derselben ein hoher ist, und in Folge dessen sich aus diesen keine billigen Kessel herstellen lassen. Diese Preise werden auch so lange sicher aufrecht erhalten werden, bis Stahlbleche von gleicher Zuverlässigkeit und bester Qualität in grösseren Quantitäten in den Markt kommen.

Es ist im höchsten Grade irreführend, dass von verschiedenen Firmen und für die verschiedensten Qualitäten von Blechen oft dieselben Namen und Marken benutzt werden. Wir finden z. B. im Handel eine Unzahl von Blechen mit dem Stempel „Krone“, ein Kesselfabrikant mag eine derartige Marke vielfach verwendet und dieselbe zuverlässig gefunden haben, während er ebenso leicht ein ebenso gestempeltes Blech, welches gar nicht für Kesselblech beabsichtigt war, kaufen kann. In England giebt es eine Unzahl von „Best-“, „Best-Best-“ und „Best-Best-Best-“ -Blechen von höchst verschiedener Qualität, und selbst der Preis gewisser Bleche ist kein unfehlbarer Maassstab für die Qualität. Warum z. B. ausgezeichnete deutsche Häuser wie Borsig's Werke und Mariazell ihre Bleche als Lowmoor- und Staffordshire-Qualität bezeichnen, ist auch nicht ganz einleuchtend und führt nur zu Irrthümern.

Die Haupteigenschaft, welche von einem Kesselbleche erwartet wird, ist Festigkeit. Hierunter ist jedoch nicht etwa zu verstehen, dass nur eine grosse absolute Festigkeit gegen das Zerreissen wie in einer Versuchsmaschine nöthig wäre, sondern man verlangt davon, dass das Material all den verschiedenen Manipulationen, welche in der Kesselschmiede vorgenommen werden, unterzogen werden kann, ohne dadurch beschädigt zu werden.

Viele geringere Sorten von Blechen besitzen eine ebenso grosse Cohäsion gegen das Zerreisen wie andere bessere Qualitäten, und kann deren geringerer Werth in verschiedenen Ursachen liegen, in Sprödigkeit und Brüchigkeit, oder dieselben können durch fehlerhafte Anfertigung unganz und bla-

---

*) Der Grund liegt auch wohl darin, dass die Stellung der Walzen, sowie die Temperatur derselben nach jedem Feiertage bedeutend verschieden von denen der letzten Arbeitstage ist, und daher kein gleiches Fabrikat erzielt werden kann.

sig und von geringer Homogenität sein. Zähigkeit und Biegsamkeit, verbunden mit grosser Festigkeit, sowie Dichtigkeit und Gleichförmigkeit in der Textur und vollkommene Homogenität sind die Eigenschaften, nach welchen bei der Wahl von Kesselblechen zu trachten ist, die wir aber vereinigt nur in den besten Qualitäten finden können.

Die Stärke und anderen Eigenschaften eines Kesselbleches werden auf mannigfache Weise in Anspruch genommen. In den Händen der Kesselschmiede kann dasselbe wiederholt der Erhitzung und Abkühlung ausgesetzt sein, es wird warm und kalt gehämmert, gebogen, gebördelt oder geflantscht, geschweisst und gelocht. Geringere Eisensorten halten nicht immer wiederholtes Erhitzen und Abkühlen aus, dieselben verwerfen und verbiegen sich dabei leicht, andere scheinen auf unerklärliche Weise zu verlieren oder legen fehlerhafte Stellen bloss und zeigen sich für weitere Bearbeitung unfähig. Manche Bleche von sonst leidlicher Qualität ertragen das Hämmern nicht, wenn rothwarm; diesen Fehler schreibt man gewöhnlich chemischen Beimischungen, dem Vorhandensein von Schwefel zu. Beim Kaltbiegen in der Walzenbiegmaschine zeigen manche sonst gute Bleche kleine Risse auf der Aussenseite, besonders wenn der Krümmungsradius ein geringer ist; man bemerkt diese Risse am häufigsten, wenn Bleche rechtwinkelig zur Faserrichtung gebogen sind, jedoch mögen oft feine Risse in der dem Bleche anhaftenden Oxydschicht für wirkliche Risse gehalten werden. In den meisten Fällen ist es schwierig festzustellen, bis zu welcher Tiefe diese Risse in das Metall eindringen.

Das Verhalten einer Blechtafel, wenn zu einem Cylinder gebogen und nach auswärts geflantscht, wobei die Fasern entweder gestreckt oder von einander gezerrt werden, je nachdem das Blech in der Faserrichtung oder senkrecht dazu geflantscht wird, ist das beste Zeichen der Güte und Dauerhaftigkeit. Keine der geringeren Blechsorten erträgt eine solche Behandlung mit einigermaassen Sicherheit. Selbst die Bleche von etwas besserer Qualität, welche das Flantschen nach innen ohne Beschädigung aushalten, und die bei sehr vorsichtiger Behandlung auch nach aussen geflantscht werden können, sind nur selten zuverlässig. Aehnlich ist es mit dem Schweissen; trotzdem selbst Bleche von geringeren Sorten sich manchmal recht gut schweissen lassen, so sollten doch stets zum Flantschen,

Wölben und Schweissen nur Bleche bester Qualität verwendet werden. Der Einfluss des Lochens auf Bleche verschiedener Sorten wird später in dem vierten Capitel über „Nieten" besprochen werden.

Ein Fehler, der am häufigsten bei der Bearbeitung der Bleche zum Vorschein kommt, ist das Blätterigsein derselben, und kommt dieses selbst bei den besten Blechsorten vor. Dieser Fehler wird durch unvollkommenes Schweissen der verschiedenen Schichten verursacht und ist durch zwischenliegende Sand- und Schlackentheile zu erklären, welche nicht durch das Hämmern und Walzen entfernt worden sind. Dicke Platten zeigen sich häufiger blätterig als dünne, und es ist oft schwer und sogar unmöglich, diesen Fehler in neuen kalten Platten zu entdecken, während man denselben oft leicht schon in der warmen Luppe wahrnehmen kann. Es passirt häufig, dass Platten, die nach vorsichtiger Untersuchung im kalten Zustande als völlig gesund bezeichnet wurden, sich beim Erwärmen und Hämmern als völlig unbrauchbar erwiesen, weil sie gefährlich blätterig sind.

Blasen sind ähnlicher Natur und entspringen aus denselben Ursachen wie blätterige Bleche. Manchmal treten dieselben als blosse Oberflächenblasen auf und sind dann ohne Nachtheil; jedoch deutet deren Auftreten stets auf Nachlässigkeit oder Unverstand bei der Anfertigung und erregt in allen Fällen Verdacht. Manchmal, und dies sind die gefährlicheren Blasen, gehen dieselben bis tief in das Blech hinein und sind von grosser Ausdehnung. Sehr häufig entgehen diese Fehler der allervorsichtigsten Untersuchung und werden selbst beim Hämmern nicht entdeckt, zeigen sich jedoch oft sehr bald nachdem der Kessel im Betriebe ist, besonders an Stellen, wo plötzliche und häufige Temperaturwechsel eintreten. Wenn eine Blase nirgend an die Oberfläche tritt, so mag dieselbe in vielen Fällen nie entdeckt werden, ausgenommen wenn sie sehr plötzlichen Temperaturänderungen ausgesetzt ist, wie über dem Feuerrost oder im Flammenrohr, wo die bedeutende Hitze auf der einen Seite im Vergleich zur anderen früher oder später auf die Blase einen Einfluss ausüben muss; jedoch selbst hier dauert es oft Jahre, ehe ein Platzen eintritt. In den Blechen über dem Roste in einem Kessel mit innerer Feuerung ist es stets nöthig die Platte sofort zu entfernen,

da ein Ausschneiden und Ausbessern an dieser Stelle nie von langer Dauer sein wird.

Nachdem der Kessel die Hand des Kesselschmiedes verlassen, wird er bald durch den täglichen Gebrauch auf eine harte Probe gestellt, und die grosse Verschiedenheit in der Qualität des Materials wird sich hier bald offenbaren. Geringe Sorten von sprödem und schlecht raffinirtem Eisen zeigen unleugbare Zeichen von Schwäche, wenn dieselben bald unter dem angreifenden Einflusse eines heftigen Feuers, bald unter dem kalter Luftströmungen sich befinden. Die plötzlichen Temperaturunterschiede, welche durch das Oeffnen der Feuerthür sowie das Durchstreichen der Luft durch den nicht gut gedeckten Rost und über die Feuerplatte verursacht werden, haben auf alle, selbst die besten Eisensorten über kurz oder lang einen schädlichen Einfluss, jedoch leiden die spröden Sorten viel früher als die zähen.

Erhält der Kesselfabrikant eine Anzahl Bleche von der Hütte, so ist es rathsam, darauf zu achten, dass jede Tafel mit dem Fabrikstempel seiner Qualität nach versehen ist, und später bei der Verarbeitung sollte darauf gesehen werden, dass die Marke stets aussen auf dem Blech in einer leicht sichtbaren Stelle sich befindet, damit man vorkommenden Falles sofort den Ursprung des Bleches nachweisen kann. Jedes Blech sollte, um seine richtige Dicke festzustellen, gemessen oder besser gewogen werden, und falls der Unterschied vom Normal ein grösserer sein sollte als der contractmässige, so muss das Blech zurückgewiesen werden. Hierauf muss jede Tafel auf beiden Seiten und an allen vier Kanten sorgfältig untersucht werden, um Fehler, wie Blasen, schieferige und blätterige Stellen, Löcher und Beulen, welche durch unvorsichtiges Walzen entstanden sein können, zu entdecken, und falls sich solche vorfinden, die Bleche zurückzuweisen. Um die innere gesunde Structur des Bleches zu untersuchen, ist es räthlich, dieselbe durch Kreidestriche in Quadrate von 100 bis 150 mm zu theilen, auf einer Kante aufstellen oder an derselben aufhängen, und jedes Quadrat mit einem leichten Hammer vorsichtig anschlagen; wo die Platte solide und gesund ist, wird der Ton scharf und klingend sein, während ein dumpfes oder klapperndes Geräusch auf Blasen und blätterige Stellen schliessen lässt. Beide Seiten der Tafel sollten diesem Versuch unterzogen werden. Stellen sich bei dieser

akustischen Untersuchung Zweifel heraus, so kann eine weitere unternommen werden, indem man die Blechtafel an allen vier Ecken unterstützt, über die fragliche Stelle feinen trocknen Sand streut, und die Tafel hierauf auf der unteren Seite leicht anschlägt. Von der soliden Stelle wird der Sand durch die Vibration entfernt, auf einer blasigen Stelle bleibt derselbe liegen. Nichtsdestoweniger sind alle diese Methoden zur Untersuchung von Blechtafeln nur unvollkommen, innere blasige und schulferige Stellen zeigen sich trotz alledem zu Zeiten beim späteren Bearbeiten, und häufig erst nachdem ein Kessel jahrelang im Betriebe gewesen ist. Es ist deshalb sehr wünschenswerth, dass eine sichere und überall leicht anwendbare Untersuchungsmethode erfunden würde, vielleicht auf magnetischem oder ähnlichem Wege wie Capitän Saxeby's Methode. Beim Schneiden der Platten auf der Hütte wird häufig verlangt, dass die Blechkante 50 bis 100 mm von jedem Kantenriss entfernt bleiben soll, viele Fabrikanten bestellen auch ihre Bleche etwas grösser, um einen Probe- oder Versuchsstreifen abschneiden zu können.

Alle Blechplatten von bester Qualität, deren Bruchbelastung mit Zug in der Faserrichtung 37·87 Kilo pro Quadratmillimeter beträgt, und welche eine Verlängerung von 12 Proc. ertragen, wenn nicht über 25 mm dick, sollten sich, wenn rothwarm, völlig zusammenbiegen lassen ohne zu brechen, sowohl in der Faserrichtung als auch senkrecht dazu.

Bleche geringerer Qualität bis zu 25 mm Stärke mit einer Bruchbelastung von 33,14 Kilo und einer Verlängerung von 7 Proc. müssen sich warm ohne Bruch in der Faserrichtung um einen Winkel von 130^0 biegen lassen, und senkrecht zur Faser um 100^0. Für die kalte Biegeprobe sollten Bleche bester Qualität bis zu 11 mm Dicke sich ohne Bruch doppelt biegen lassen.

Gute Kesselbleche sollen sich kalt ohne Bruch auf folgende Winkel biegen lassen:

Dicke in mm	Faserrichtung	Senkrecht zur Faser	Dicke in mm	Faserrichtung	Senkrecht zur Faser
25	15^0	7^0	11	55^0	30^0
22	20^0	10^0	9,5	70^0	35^0
19	30^0	15^0	8	80^0	45^0
16	40^0	20^0	6	90^0	55^0
13	50^0	25^0			

Für umstehende Tabelle sollte der Radius der Kante, über welche die Bleche gebogen werden, 12 mm nicht übersteigen. Der Winkel, bis zu welchem sich eine Platte biegen lässt. wird wesentlich von der vorsichtigen Handhabung des Kesselschmiedes abhängen, welcher die Platte erhitzt und biegt. Eine Platte, die unter einer Anzahl scharfer leichter Hammerschläge die Biegung ohne Schaden erträgt, wird häufig bei Benutzung eines schweren Hammers brechen. Richtet man die Hammerschläge so, dass dieselben gewissermaassen ziehend auf das Blech wirken, so kann man dasselbe meist bedeutend weiter biegen als unter Schlägen, die dasselbe vertical treffen. Ist die Einwirkung gleichmässig über die ganze Blechbreite, so kann man ebenfalls eine grössere Biegung erreichen, als wenn es stückweise geschieht.

Nieten und Walzeisen für Kesselbau werden selten auf absolute Festigkeit geprüft, man begnügt sich meist, deren Qualität durch Biegen und Hämmern festzustellen. Ein guter Niet muss sich kalt doppelt biegen lassen ohne zu reissen, der Kopf soll sich, wenn warm, bis auf etwa 3 mm Dicke flachhämmern lassen, ohne Kantenrisse zu zeigen. Hämmert man einen Nietschaft oder ein Stück Walzeisen im warmen Zustande bis auf etwa seine halbe ursprüngliche Stärke aus, so muss sich durch die flache Stelle ein Loch stanzen lassen, ohne dass die Kanten ausreissen.

Zahlreiche Experimente sind ausgeführt worden, um die absolute Festigkeit von Blechtafeln verschiedener Qualitäten in den gangbarsten Dicken festzustellen. Viele derartige Versuche werden jedoch leider nicht so vollständig berichtet, wie es wohl wünschenswerth wäre, wichtige und interessante Punkte werden übersehen oder falschen Ursachen zugeschrieben. Die für England allgemein anerkannten und zuverlässigsten Festigkeitsversuche sind die von Herrn Kirkaldy in London, und selbst viele deutsche und andere Firmen auf dem Continente lassen dort ihre Bleche und Walzeisen untersuchen. Aus vielen dieser Experimente lässt sich im Allgemeinen feststellen, dass die Bruchbelastung guter Kesselbleche etwa 33 Kilo in der Faserrichtung und 10 Proc. weniger senkrecht zur Faser betragen soll. Viele vorzügliche Bleche besitzen eine höhere Festigkeit. So ist nach Kirkaldy die Bruchbelastung

für Best Yorkshire: 37,87 und 34,7,
für Best Borsig: 36,63 und 35,01.

Nach den Versuchen auf der kaiserlichen Werft zu Wilhelmshafen im Januar 1876 ergaben sich folgende Resultate:

Name des Fabrikanten	In der Faserrichtung Kilo pro qmm	Senkrecht zur Faser Kilo pro qmm	Ausdehn. in der Bruchfläche	
			In der Faserrichtung	Senkrecht zur Faser
Best Borsig (I)	47,5	48,4 (?) *)	11,75	6,43
Best — (II)	44,0	42,25	16,2	8,9
Borsig gewöhnlich .	41,4	34,6	8,7	2,5
Mariazell .	32,6	31,2	19,4	10,1
Staffordshire	36,7	32,4	5,9	2,8

Rund- und Quadrat-Walzeisen haben im Allgemeinen eine höhere Bruchbelastung als Bleche von gleicher Qualität, und ist dieser Unterschied besonders in den geringeren Sorten am auffälligsten. Dieser Umstand wird gewöhnlich der vollkommeneren Durcharbeitung in Folge des längeren Walzens der Façoneisen zugeschrieben. Stützen wir uns wieder auf Kirkaldy's Experimente, so finden wir, dass gewöhnliche Façoneisensorten den Blechen aus „Best Yorkshire" nahestehen, und dass als durchschnittliche Bruchbelastung 39 Kilo pro Quadratmillimeter angenommen werden darf. Es darf jedoch hieraus nicht der Schluss gezogen werden, dass Walzeisen der besten Qualitäten keinen Vorzug vor geringeren Sorten hätten, jedoch liegt derselbe vorzugsweise in grösserer Gleichmässigkeit und Sicherheit, ferner sind die besseren Sorten zäher und lassen sich weit besser schmieden und schweissen.

Bricht man eine Platte oder einen Stab aus Schmiedeeisen, so zeigt die Bruchfläche Eigenthümlichkeiten, nach welchen man die Qualität des Eisens beurtheilt. Man bezeichnet die Bruchfläche als: Sehnig homogenes Gefüge, homogen feinkörniges, seidenartig zähes; oder als: krystallinisch grobkörniges, sprödes, roth- oder kaltbrüchiges u. s. w.

Trotzdem über die Einwirkung der Herstellung, der Erze etc. auf das Aussehen der Bruchfläche Vieles und Werth-

*) Dieses Resultat erscheint eigenthümlich, weil das Blech senkrecht zur Faserrichtung eine höhere absolute Festigkeit besitzt als in der Faserrichtung.

volles geschrieben ist, so sind doch gerade über diesen Punkt noch sehr irrige Ansichten im Umlauf, und es ist ein sehr schwieriges Ding, aus der Bruchfläche allein auf die Qualität des Eisens einen entschiedenen Schluss zu ziehen. Eine sehr allgemein verbreitete Ansicht, dass gutes Eisen im Bruch ein sehnig zähes Aussehen zeigen muss, kann unter Umständen zur Verdammung ausgezeichneter Qualitäten führen. Die besten Bleche oder Walzeisen werden, wenn plötzlich zerrissen, ebenso wie geringe Qualitäten einen körnig krystallinischen, ganz ebenen Bruch zeigen, jedoch wird selbst in diesem Falle das feinere oder gröbere Gefüge einen Anhalt über die Güte des Eisens gewähren. Wird dagegen das Eisen durch allmäligen Zug zerrissen, so ist in den meisten Fällen die Bruchfläche sehnig uneben, zu Zeiten auch hier mit krystallinischen Flecken; auch in diesem Falle bietet die Textur einen Anhalt über die Güte des Materials.

Das Gefüge der besten Eisensorten, Bleche und Walzeisen, wenn kurz und plötzlich gebrochen, ist fein und dichtkörnig, von gleichmässig krystallinischem Korn, oder auch seidenartig, von heller silbergrauer Farbe, und nähert sich das Aussehen der besseren Sorten dem des Stahles. Geringere Eisensorten, schlecht gepuddelt, zeigen gewöhnlich ein gröberes Korn mit grösseren oder kleineren Flächen gemischt, von dunklerer Farbe und manchmal einigen Gusseisensorten ähnlich. Wird Eisen dagegen allmälig auseinander gezogen, so ist die Bruchfläche in den besseren Qualitäten sehnig dichtfaserig, von hellgrauer Farbe, während geringere Sorten offener, gröber und meist dunkler erscheinen.

Ein Stab oder ein Blechstreifen kann durch einen kräftigen Schlag plötzlich zerbrochen werden, wenn man denselben ringsherum mit einem Meissel eingehauen hat. Haut man den Stab uur auf einer Seite ein und biegt ihn nun vorsichtig, mit dem Meisselhieb nach oben gerichtet, so hat das Metall Zeit, sich in sehnig faserigem Gefüge auf der Bruchfläche zu ordnen. Es mag hier bemerkt werden, dass Metall in den Handel gebracht wird, welches sich selbst bei der grössten Vorsicht nicht so allmälig biegen lassen will, dass es im Bruch faseriges Gefüge zeige; dass ein solches Material nicht den Namen Schmiedeeisen verdient, und sicher nie als Kesselmaterial benutzt werden darf, ist natürlich und braucht kaum erwähnt zu werden.

Kirkaldy spricht sich über die Textur des Eisens auf einer Bruchfläche wie folgt aus. Im faserigen Bruch haben sich die Fäden ausgezogen und werden äusserlich gesehen; im krystallinischen Bruch sind die in Bündeln zusammenstehenden Fasern durchbrochen und zeigen ihren Querschnitt.

Wenn alte Kesselbleche auf einer Seite eine faserige, auf der anderen eine krystallinische Textur zeigen, wird oft angenommen, die eine Seite habe eine grössere Veränderung erfahren als die andere; die wirkliche Ursache ist wahrscheinlich in den meisten Fällen, dass das Blech theilweise allmälig gebrochen, gewissermaassen auseinander gezogen wurde, und sobald der Querschnitt verringert war, plötzlich gänzlich durchbrach.

Wenn gutes dehnbares Eisen allmälig auseinander gerissen wird, so verlängert sich dasselbe in und nahe der Bruchfläche sehr bedeutend; hierdurch vermindert sich natürlich der Querschnitt der Bruchfläche, und bei einer Bestimmung der Qualität sollte dieser und der ursprüngliche Querschnitt stets verglichen werden. Eine Platte oder ein Stab geringerer Qualität mögen eine ebenso hohe Bruchbelastung besitzen wie die besten Sorten, sage z. B. 36 Kilo pro Quadratmillimeter, vergleicht man jedoch die Bruchquerschnitte, so ergiebt sich, dass die bessere Sorte ganz bedeutend ausgezogen worden ist, und vielleicht bei 47 Kilo pro Quadratmillimeter Bruchfläche erst zerriss, während die geringere wenig reducirt ist und also der ganze ursprüngliche Querschnitt die Last aufnahm. Hierin besonders besteht der hohe Vorzug der besseren dehnbaren Sorten; dieselben sind bei plötzlich auftretenden Spannungen weit zuverlässiger, sie dehnen sich, während die geringen Sorten brechen.

Es wird oft behauptet, dass Schmiedeeisen seine Textur von einer faserigen in eine krystallinische ändert, wenn es längere Zeit dem Kalthämmern oder Vibrationen, Spannungen, Stössen und anderen derartigen Einwirkungen ausgesetzt ist; ähnlichen Einfluss haben längere Einwirkung von Hitze und abwechselnder Expansion und Contraction, wie z. B. in den Blechen eines Dampfkessels. Selbst die besten Bleche, nachdem dieselben zehn bis zwanzig Jahre lang in einem Kessel gewesen sind, brechen gelegentlich plötzlich und ohne Ausdehnung, und zeigen eine krystallinische Textur. Man sagt, dass in diesem Falle eine Molecularänderung im Material eingetreten ist, und dass es aus einem zähen, faserigen, durch unerklärliche Mittel in einen krystallinisch spröden Zustand

übergegangen ist, oder kurz, dass es in Folge gewisser Einwirkungen seine Eigenschaften geändert habe. Es unterliegt nun keinem Zweifel, dass die oben angeführten Ursachen die Wirkung haben, im Eisen insoweit eine Aenderung hervorzubringen, dass eine Belastung, die dasselbe ursprünglich allmälig zerrissen haben würde, es jetzt plötzlich brechen macht, wobei sich eine krystallinische Bruchfläche zeigt. Dieses plötzliche Brechen nun, und nicht die Erschlaffung des Materials, ist die Ursache der krystallinischen Bruchfläche, welche eben nur eine nothwendige Folge des plötzlichen Bruches und nicht eine Eigenschaft des Eisens ist. Zu sagen, es bricht kurz, weil es eine krystallinische Textur angenommen, ist eine Verwechselung der Ursache mit der Wirkung. Es ist falsch zu sagen, das Eisen habe seine faserige Textur verloren, denn seine Dehnbarkeit kann, bis zu einem gewissen Grade wenigstens, durch einfaches Erwärmen bis zur Rothglühhitze und langsames Abkühlen wieder hergestellt werden, oder falls dies nicht genügen sollte, so wird die Bearbeitung unter Hammer oder Walze im warmen Zustande den gewünschten Erfolg haben.

Erhitzt man ein Stück Eisen und kühlt es plötzlich ab, so wird hierdurch dieselbe Wirkung erzielt als durch Kalthämmern, das Eisen wird spröde und bricht plötzlich. Die Erklärung für diese Erscheinungen ist nicht einfach, in beiden Fällen mag die Behandlung die Wirkung haben, die Krystalle, in welche sich das Metall schliesslich aufgelöst denken lässt, aus ihrer innigen Cohäsion zu lösen, und ein ähnliches Resultat mag durch fortwährende Vibrationen oder Stösse sowie abwechselndes Erhitzen und Abkühlen hervorgebracht werden.

Die Wiederherstellung der Zähigkeit durch die Anwendung von Wärme, und mehr noch durch die Anwendung von Druck, mag in solchen Fällen seinen Grund darin haben, dass die ursprüngliche Lage der Krystalle wieder hergestellt wird.

Es mag festgestellt werden, dass alle Kesselbleche, die überhaupt diesen Namen verdienen, faserig in der Textur sind; ob die Härte derselben einen plötzlichen Bruch verursacht, wodurch die Bruchfläche krystallinisch erscheint, hängt von den Eigenschaften und der weiteren Behandlung derselben ab. Kein gutes Eisen kann jedoch durch irgend welche Behandlung, das Verbrennen desselben ausgenommen, dahin gebracht werden, dass die Bruchfläche grobkörnig erscheint, und ebenso wenig können geringe Qualitäten jemals einen

feinkörnigen dichten Bruch zeigen. Aus Mangel an Kenntniss dieser verschiedenen Umstände kommt es, wie schon erwähnt, oft vor, dass gänzlich falsche Urtheile über die Qualität von Eisen gefällt werden. Der folgende Fall mag hier, obwohl vielleicht vielen Lesern bekannt, als Beispiel erwähnt werden. Bei Gelegenheit einer gerichtlichen Untersuchung über die Ursachen einer Kesselexplosion wurde das Gutachten eines Sachverständigen über die Qualität der Kesselbleche verlangt. Nachdem sich derselbe dahin erklärt, dass er mit der Sache völlig vertraut sei, wurden ihm drei Proben vorgelegt, die er auf das Entschiedenste als gut, schlecht und mittelmässig bezeichnete. Es stellte sich heraus, dass alle drei Proben aus demselben Blechstreifen geschnitten waren, und dass ihnen durch schlaue Behandlung beim Brechen die verschiedenen Texturen in der Bruchfläche ertheilt worden waren.

Es ist durchaus nicht selten, dass man selbst ausgezeichnete Ingenieure bei gerichtlichen Untersuchungen ein Urtheil über die Qualität von Eisen abgeben hört, ohne irgend welchen anderen Anhalt, als die Bruchbelastung des Eisens. Dass hierauf unmöglich ein entscheidendes Urtheil basirt werden kann, ist in dem Vorangehenden hinlänglich erwiesen. Es ist unbedingt nothwendig, in solchen Fällen alle Umstände vorsichtig in Erwägung zu ziehen, die Natur der Bruchfläche, den Querschnitt der Bruchfläche im Vergleich zum ursprünglichen Querschnitt, die Form und Temperatur des Probestückes, die Richtung und Art und Weise der Belastung sowohl, als natürlich die endliche Bruchbelastung, sind alles Umstände von grosser Bedeutung.

Wenn die Blechplatte, deren Qualität zu bestimmen ist, von einem alten Kessel herrührt, so sollte deren Alter, die Lage der Platte im Kessel und im Feuer, sowie irgend welche anderen Umstände, welche über die Art und Weise der Inanspruchnahme derselben und die Ursache des Bruches Aufschluss geben könnten, ausführlich berichtet und berücksichtigt werden. Wie durch Herrn Kirkaldy nachgewiesen wurde, kann gutes geschmeidiges Eisen in der Probirmaschine so gebrochen werden, dass die Bruchfläche krystallinische Textur zeigt, wenn man die Bruchstelle auf einen Punkt oder eine sehr geringe Länge beschränkt, z. B. dadurch, dass in einen runden Stab eine schmale Nute eingedreht wird. Durch diese Verringerung des Querschnittes in einer Stelle ist die

Wahrscheinlichkeit des Kurzbrechens mit krystallinischem Gefüge weit grösser, als ob der Querschnitt für eine grössere Länge gleichmässig ist, wodurch ein Strecken vor dem Bruch begünstigt wird.

In allen Fällen, wo die Möglichkeit des Streckens und der folglichen Reduction des Querschnittes der Bruchfläche durch irgend welche Ursache wie Kaltwalzen, Hämmern, plötzliche Aenderung des Querschnittes oder durch sehr plötzliche Belastung verringert wird, vergrössert sich gleichzeitig die Bruchbelastung im Verhältniss zum vergrösserten Querschnitt in der Bruchfläche.

Einen grossen Theil unserer Kenntniss über das Verhalten und die Veränderungen der Festigkeit von Kesselblechen und Walzeisen bei verschiedenen Temperaturen verdanken wir den Experimenten Sir W. Fairbairn's. Die folgende Tabelle enthält die Resultate derselben, und zeigt sich darin, dass von 0^0 bis zu 200^0 die Festigkeit und Zähigkeit von Blechen fast constant bleiben. Der Unterschied in der Festigkeit zwischen Kupfer und Schmiedeeisen (vergl. Tabelle S. 39) für gewöhnliche Temperaturen ist sehr auffallend.

Kesselbleche			Nieteneisen	
Temperatur in Graden Celsius	Zerrissen in der Faserrichtung	Zerrissen senkrecht zur Faserrichtung	Temperatur in Graden Celsius	
— 18^0	34,46	—	— 1^0	44,61
+ 15^0	35,30	29,43	+ 15^0	44,18
+ 45^0	29,08	32,05	+ 45^0	49,78
+ 100^0	31,44	32,13	+ 100^0	55,74
+ 132^0	30,95	—	120 — 132^0	58,11
+ 171^0	35,13	29,59	154 — 163^0	59,09
+ 202^0	32,40	—	213 — 224^0	59,01
dunkelroth		24,09	rothwarm	24,60

Die in diesen Experimenten benutzten Staffordshire-Bleche scheinen nicht von bester Qualität gewesen zu sein. Die grösste Bruchbelastung für Nieteneisen zeigt sich bei 160^0 und beträgt 58,5 Kilo pro Quadratmillimeter, und ist diese Temperatur höher als die, bei welcher die Durchschnittsbelastung für Bleche 32,4 Kilo erzielt wurde. Wenig oder

geringer Unterschied zeigt sich in der Festigkeit der Bleche, während die des Stabeisens bei höheren Temperaturen bis zu 225° fast um die Hälfte grösser wird.

Der schmiedebare Guss.

Trotzdem der schmiedebare Guss bisher wohl nur in geringem Maasse im Kesselbau Anwendung gefunden, so ist derselbe nichtsdestoweniger gerade hierfür ein sehr empfehlenswerthes Material. Im siebenten Capitel ist ausführlicher darüber gesprochen, dass Armaturentheile, wie Ventile und dergleichen, nie direct am Kessel anzuschrauben sind, um die gewölbten Flantschen und die davon unzertrennlichen Schwierigkeiten des Rinnens zu vermeiden, sondern stets Sitze am Kessel anzunieten und diese mit einem ebenen, bearbeiteten Flantsche für den Armaturentheil zu versehen. Gusseisen eignet sich hierfür nicht, weil es unzuverlässig ist, schmiedeeiserne Sitze sind, wenn nicht von der einfachsten Form, meist sehr theuer, und da ist denn schmiedebarer Guss ein sehr passendes Material. Dampfleitungen, die man für Spannungen von 4 Atmosphären und darüber stets und am besten für jeden Druck aus schmiedeeisernen Rohren anfertigt, weil dieselben sicherer und zuverlässiger als gusseiserne sind, und dies meist ohne irgend welche höhere Kosten geschehen kann, bedürfen der verbindenden T- und zuweilen Winkelstücke, welche natürlich aus einem ebenso zuverlässigen Material, wie die Dampfleitung selbst, herzustellen sind. Auch hierzu habe ich häufig schmiedebaren Guss benutzt, wodurch die häufigen Unannehmlichkeiten und selbst Gefahren, die aus gesprungenen Verbindungsstücken erwachsen, vermieden werden. Bei Anwendung von schmiedeeisernen Rohren kann man mit Bogen von 60 bis 100 cm alle Expansionsvorrichtungen, die stets zu mehr oder weniger Mühen Ursache geben, vermeiden, wodurch nicht wenig an Kosten und an Verbindungen gespart wird.

Der schmiedebare Guss wird jetzt von ganz vorzüglicher Qualität hergestellt, die besseren Sorten sind zähe, biegsam und von grosser absoluter Festigkeit. Einige Versuche mit schmiedebarem Guss, die bei John Elder & Co. in Fairfield angestellt sind, und deren Resultate mir vorliegen, ergeben eine durchschnittliche Bruchbelastung auf Zug von

40 Kilo pro Quadratmillimeter, während Gusseisen schon bei einer Belastung von 15 Kilo zerreisst. In Folge seiner Zähigkeit erträgt das Material plötzliche Temperaturänderungen ähnlich wie Schmiedeeisen, ohne jeglichen Schaden, lässt sich hämmern, biegen und selbst auswalzen. Hergestellt wird dasselbe durch Glühen in geschlossenen Gefässen mit Oxyden, oder durch Behandlung in leicht schmelzbaren kieselsauren Schlacken, die viel Eisenoxyd gelöst enthalten, auch Zinkoxyd wird zum Glühen verwendet. In Remscheid und Solingen benutzt man lichtgraues Nassauer Holzkohleneisen. Das specifische Gewicht variirt von 7,1 bis 7,3.

Der Stahl.

Stahl ist am besten beschrieben als Eisen, welches eine mittlere Stellung zwischen Guss- und Schmiedeeisen einnimmt, im Verhältniss zu dem in demselben gebundenen Kohlenstoff; Gusseisen enthält von 6 bis zu 2, Stahl von 2 bis zu $^1/_3$ und Schmiedeeisen von $^1/_3$ bis zu $^1/_4$ Proc. (s. auch die Structur des Stahles) C. Schott, Engineering, Vol. IV, D. Chernoff, Engineering, Vol. XXII. Es ist nicht der Zweck dieses Werkes, genaue Analysen der drei Eisensorten zu geben oder genauer auf deren chemische Zusammensetzung einzugehen, es ist jedoch sicher, dass es für die Herstellung guten Stahls nöthig ist, noch andere Operationen mit dem Gusseisen vorzunehmen, als eine blosse Reduction der Kohlenstoffprocente.

Man behauptet häufig, dass die charakteristischen Merkmale der besseren Stahlsorten wesentlich durch die chemische Verbindung der geringeren Quantität Kohlenstoff mit dem Eisen bedingt sei. Wie gross auch immer der Einfluss anderer Elemente in der Verbindung mit Stahl sein mag, es ist zur Genüge erwiesen, dass die absolute Festigkeit und Härte desselben im directen Verhältniss zur Quantität des chemisch gebundenen Kohlenstoffs stehen. Bis zu einem gewissen Grade, und dieser ist wieder von der Qualität des Materials abhängig, kann man sagen, dass die Festigkeit mit dem Kohlenstoffgehalt zunimmt. Bei Bessemer-Stahl ist die grösste Bruchfestigkeit von 110 Kilo erreicht bei einem Kohlenstoffgehalt von $1^1/_4$ Proc., und beträgt in diesem Falle die Ausdehnung $2^1/_4$ Proc. Ueber diesen Kohlengehalt hinaus wird der Stahl allmälig

schwächer. Wenn der Gehalt bis auf $^1/_3$ Proc. reducirt wird, so ist die Bruchbelastung nur — 47 Kilo, jedoch erleidet der Stahl eine Ausdehnung von 16 Proc. Mit weniger als $^3/_8$ Proc. lässt sich Bessemer-Stahl nicht härten, mit mehr als $^5/_8$ Proc. lässt er sich nicht schweissen und über 2 Proc. verliert er seine Schmiedbarkeit. Diese Zahlen variiren etwas mit der Verschiedenheit im Material, welche durch mehrfache Ursachen beeinflusst werden kann.

Mit Ausnahme der eben angedeuteten chemischen Eigenschaft des Stahles ist es sehr schwer, ohne auf Widerspruch zu stossen, eine andere Eigenschaft zu nennen, die alle Materialien, welche unter den Namen Stahl kommen, gemein hätten und wodurch dieselben vom Gusseisen unterscheidbar wären. Man könnte grössere, absolute und rückwirkende Festigkeit, verbunden mit grösserer Federkraft und einer grösseren Elasticität erwähnen, jedoch ist der Unterschied der einen oder anderen dieser Eigenschaften in besonderen Fällen ein so geringer von denen des Schmiedeeisens, dass dieselben kaum als unterscheidende Merkmale hingestellt werden können.

Die besten Qualitäten des Stahls, welche sich härten und anlassen und in manchen Fällen auch schweissen lassen, aber für constructive Zwecke nicht verwendbar sind, gehören deshalb auch nicht in unseren Bereich und wollen wir uns begnügen, diejenigen weicheren Stahlsorten zu besprechen, welche für den Kesselbau Bedeutung besitzen.

Es war wahrscheinlich die hohe Festigkeit und Zähigkeit der Werkzeug- und Feder-Stahlsorten, welche zuerst die Aufmerksamkeit auf die hohen Vorzüge lenkte, welche ein solches Material für Constructionszwecke besitzen würde. Der hohe Preis desselben stand jedoch lange der allgemeineren Verwendung im Wege, und dieses Hinderniss wurde erst durch die Erfindung und Einführung neuer Fabrikationsmethoden beseitigt, welche bis jetzt nur vom kaufmännischen Standpunkte aus als erfolgreich hingestellt werden können, und die bisher die Qualität des Materials nicht wesentlich beeinflusst haben.

Je nach der Herstellungsweise unterscheidet man Tiegelgussstahl, Bessemer-Stahl, Siemens und Martini- und gefrischten Stahl oder Herdstahl. Ausserdem ist unter dem Namen homogenes Metall ein weicher Gussstahl im Handel. Die Stäbe und Platten dieser Stahlsorten werden mit Ausnahme des gefrischten Stahls aus einer Luppe gewalzt. Von dem Frischstahl müssen

stets eine Anzahl kleinerer Stücke in ein Bündel zusammengeschweisst werden wie beim Schmiedeeisen und haben in Folge dessen dieselben Mängel wie dieses.

Bei einem Vergleiche der Eigenschaften von Stahl und Eisenblechen unterliegt es keinem Zweifel, dass die Art und Weise der Herstellung von Gussstahl ungleich günstiger für die Erzielung eines homogenen Bleches ist, als die Anfertigung von Schmiedeeisen. Gussstahlblechplatten, aus einer Luppe gewalzt, welche durch Guss hergestellt und tüchtig unter dem Hammer bearbeitet ist, haben mehr die Wahrscheinlichkeit der Homogenität für sich als schmiedeeiserne Bleche, welche aus einer Anzahl kleinerer Stücke geschweisst, selbst bei den besten Qualitäten zuweilen schlechte, durch zwischenliegende Sand- und Schlackentheile verursachte, Schweissstellen enthalten. Beim Schmiedeeisen hängt die Gleichmässigkeit und Homogenität eben von der Vorsicht und Gründlichkeit der Bearbeitung ab, und bei dem geringsten Versehen sind unganze, schieferige Stellen, Blasen, Sandadern und dergleichen die natürlichen Folgen. Es soll hier jedoch erwähnt werden, dass die Homogenität von Gussstahlstäben und Blechen häufig gar nicht so vorzüglich und vollkommen ist, als sich wohl erwarten und wünschen liesse, und trotzdem man gewöhnlich auf die Qualität einer Platte mit Zuversicht bauen kann, so findet sich nur zu häufig, dass dieselbe Gleichförmigkeit nur selten einer grösseren Anzahl Platten gemein ist.

Grosse Schwierigkeiten haben sich bei der Anfertigung von Stahlblechen aus gegossenen Luppen durch die unvermeidlichen Gussblasen ergeben. Die von verschiedenen Autoritäten und zu verschiedenen Zeiten versuchten Methoden, den Stahl in gusseiserne Formen zu giessen und durch Pressen unter einer hydraulischen Presse die Blasen zu entfernen, hat nur zu theilweis günstigen Erfolgen geführt; entfernt wurden die Blasen nur theilweis, meist aber im Kern zusammengepresst. Diese Methode wurde zuerst in Frankreich von Révollier, Bietriz & Co. in St. Etienne 1867, später von Josef v. Stummer-Traunfels in Neuberg in Oesterreich und von Sir Joseph Whitworth in Manchester ausgeführt und hat besonders für Gussstücke ausgezeichnete Resultate gegeben. Herr R. M. Daelen in Barop befolgte eine andere Methode, die Form wurde mit flüssigem Metall gefüllt, geschlossen, und nun mittels einer Druckpumpe so viel wie möglich nachgepresst (s. „Stummer's Ingenieur", Bd. II). Als überwunden sind

diese Schwierigkeiten erst anzusehen, seitdem man gelernt hat, die Gussblasen durch chemische Mittel (Braunstein) zu vermeiden.

Trotz der grösseren Festigkeit und anderer guten Eigenschaften ist Stahl bis jetzt noch in verhältnissmässig geringer Anwendung als Kesselmaterial. Die Abneigung, welche noch immer gegen die Anwendung dieses Materials besteht, kann nicht auf irgend welche Fehler oder Mängel zurückgeführt werden, welche sich im praktischen Gebrauche gezeigt hätten, wie z. B. beim Gusseisen. Ohne Zweifel werden noch oft die thörichtsten Widersprüche gegen die Anwendung von Stahl erhoben, so z. B., dass die Stahlbleche unter dem Einflusse von Hitze und Kälte so bedeutende Ausdehnung und Zusammenziehung zeigen, dass dieselben für Dampfkessel untauglich seien; dass dieselhen sich in der Hitze so bedeutend verwerfen, dass man sie nicht warm verarbeiten kann, oder auch, dass Stahlplatten ohne irgend welche vorhergehende Anzeichen und ohne allen sichtbaren Grund zerreissen.

Es kann nicht geleugnet werden, dass manche Stahlplatten unter dem Einflusse von Schlägen oder plötzlichen Spannungen etwas unzuverlässiger Natur sind; sieht man jedoch näher nach der Ursache der Abneigung, so wird man finden, dass dieselbe in den meisten Fällen auf bösen, mit den frühesten harten und spröden Blechplatten gemachten Erfahrungen basirt sind, in einer Zeit, wo man die Eigenschaften des kostbaren Materials noch nicht so gut verstand als jetzt. Das Bestreben, von der hohen Festigkeit den ausgedehntesten Gebrauch zu machen, führte zur Anwendung so harter Stahlplatten, dass dieselben gar nicht anders als spröde und unzuverlässig sein konnten. Es ist durch Erfahrung nachgewiesen, dass für die verschiedensten Stahlsorten Festigkeit und Zähigkeit nicht vereinbar sind, und dass diese beiden Eigenschaften als im umgekehrten Verhältniss zu einander stehend angesehen werden können. Wenn wir darauf bestehen, Stahl von einer Bruchbelastung von 63 Kilo und aufwärts zu haben, so müssen wir vorbereitet sein, denselben hart, spröde und in Folge dessen für Kesselbau untauglich zu finden. Um sicher zu sein, dass das Material nicht spröde ist, müssen wir uns mit einer Bruchbelastung von 42 bis 46 Kilo begnügen, die letztere Zahl scheint die höchste zu sein, bei welcher sich noch auf Zähigkeit und Biegsamkeit im gewünschten Grade rechnen lässt, jedoch können Stahlplatten noch von 48 Kilo Bruchbelastung mit ausreichender

Zähigkeit und Biegsamkeit für handliche Bearbeitung hergestellt werden. Die Leichtigkeit der Herstellung und Handhabung ist von grosser Bedeutung, weil hierauf der kaufmännische Erfolg des Kesselbaues basirt.

Es ist unzweifelhaft, dass die Anwendung von Stahl für Kesselbleche durch die Unkenntniss der Eigenschaften desselben und die folgliche Schwierigkeit der Behandlung sehr bedeutend zurückgehalten worden ist, und das Resultat schlechter Erfahrungen auf Grund der eigenen Unkenntniss ist der feste Vorsatz vieler Kesselfabrikanten, Stahlbleche so wenig wie möglich zu verwenden.

Gute Stahlplatten, selbst von der weichsten Qualität, werden vom Feuer in wesentlich verschiedener Weise beeinflusst als Eisenbleche, und ist dieser Umstand von grosser Bedeutung in dem Verhalten der Stahlbleche beim Biegen und Flantschen bei hoher Temperatur. Beim Flantschen von Schmiedeeisen ist es nur nöthig, eine kurze Strecke auf einmal zu erhitzen, mit Stahl dagegen ist es rathsam, eine viel grössere Länge zu erhitzen, als bei dem gewöhnlichen langsamen Process des Umflantschens bei jeder Hitze fertig gemacht werden kann, um ein Beschädigen des Bleches zu verhüten. Es ist übrigens besonders für Stahl weit besser, die ganze Operation des Umflantschens in einer oder höchstens zwei Hitzen zu vollenden, und dabei den ganzen Umfang gleichmässig zu behandeln. Dies kann nun natürlich in den meisten Fällen nur mit Hülfe besonderer Werkzeugmaschinen erreicht werden, und diese finden in Folge dessen eine immer verbreitetere Anwendung. Nachdem diese Operation vollendet ist, darf man nun nicht erwarten, dass die Platte in den stark erhitzten Stellen rauhe Behandlung zu ertragen im Stande wäre, und es ist deshalb rathsam, dieselbe auszuglühen, um die frühere gleichmässige Zähigkeit und Geschmeidigkeit wieder herzustellen. Dies muss mit Vorsicht ausgeführt werden, die Platte wird möglichst gleichmässig bis zur Dunkelroth-Glühhitze erwärmt und hierauf der vorsichtigen und langsamen Abkühlung überlassen. Zuweilen überdeckt man die Stahlbleche mit feiner Asche oder Sand, um die Abkühlung zu verzögern, muss hierbei jedoch vorsichtig darauf achten, dass die Platte nicht zu warm ist, wodurch chemische Umformung stattfinden kann, wenn der Stahl mit einem nichtleitenden Körper in inniger Berührung steht. Das Aussehen der Platten gewinnt durch das Ausglühen keineswegs,

und ausserdem wird dieser Process, wenn ausgedehnt angewandt, etwas sehr kostspielig. Nichtsdestoweniger werden in einigen englischen Werken, in denen Stahlbleche eine ausgedehnte Anwendung finden, alle Platten höchst vorsichtigen Manipulationen unterzogen, und hierdurch ein sehr hoher Sicherheitsgrad in Stahlkesseln erzielt. Ich erwähne hier einige Bemerkungen aus dem bereits mehrfach erwähnten „Report of American Master Mechanics“ *) über die Anwendung von Stahl als Kesselmaterial: — Ueber das beste Material für Kesselmantel giebt es nur eine Meinung, Stahl ist allem anderen vorzuziehen; für Locomotivefeuerkasten hat man sich besonders für bituminöse Kohle nach langjährigen Erfahrungen mit Eisen und Kupfer, ebenfalls für Stahlbleche entschieden. — Ueberhaupt bietet dieser Bericht sehr viel Interessantes und ist bestens zu empfehlen.

Bearbeitet man den Stahl kalt, so muss ganz besonders darauf geachtet werden, dass keine Blasen und Risse im Bleche sind, weil dieselben sehr häufig, vielleicht mit Ausnahme der weichsten Qualitäten, Anlass zu Brüchen geben. Beim Kaltbiegen oder sonstigen Erschütterungen und Spannungen kommt es selbst vor, dass kleine Kantenrisse Ursache zum plötzlichen Reissen oder Brechen geben. Dieselbe Schwierigkeit findet sich allerdings bei der gewöhnlicheren, spröden Sorte des Schmiedeeisens, jedoch in geringerem Maasse. Aus diesem Grunde sollten alle scharfen Kanten, Bärte vom Lochen und Schneiden vorsichtig entfernt werden, ehe man beginnt, besonders harte Stahlplatten zu biegen oder anderweitig zu bearbeiten.

Als ein Beispiel von besonderer Behandlung bei Anwendung von Stahl sei erwähnt, dass wenn man einen eingeschraubten Stehbolzen am Ende umnieten will, und lässt den Schraubengang daran, so kommt es vor, dass der Kopf blätterig wird und abspringt. Um dies zu verhüten, sollte man stets den Schraubengang vor dem Umnieten entfernen und kann dann ohne Gefahr nieten.

Ueber den Einfluss des Lochens auf Stahlbleche fehlt es uns nicht an Experimenten mit den verschiedensten Stahlsorten, jedoch mag hier erwähnt werden, dass die Kesselfabrikanten für die genaue Kenntniss der Eigenschaften der

---

*) Engineering, Vol. XXIV.

Stahlplatten zum grössten Theil den Schiffsbauern Dank schuldig sind. Als wesentliches Resultat einer Reihe von Experimenten und langjähriger Erfahrungen mag festgestellt werden, dass Stahlbleche von mittlerer Qualität, besonders von mehr als 48 Kilo Bruchbelastung, durch Lochen mehr beschädigt werden als Eisenbleche, und kann man als allgemein annehmen, dass die Beschädigung mit der Härte der Platten wächst. Aus diesem Grunde haben die meisten Firmen, welche Stahlkessel anfertigen, das Lochen gänzlich fallen lassen, und bohren alle Bleche, mit bedeutend besseren Resultaten. Der hohe Preis des Bohrens, besonders für den Schiffbau, führte zu Versuchen, Mittel zu entdecken, durch welche sich die schädlichen Einflüsse des Lochens aufheben liessen, und es fand sich, dass durch Glühen die Zähigkeit gelochter Bleche, wenn nicht vollkommen, so doch im bedeutenden Grade wieder hergestellt werden konnte.

Einige Experimente wurden von Herrn Sharp in Bolton ausgeführt, um festzustellen, wie sich die Festigkeit von gelochten und gebohrten Platten zu einander verhielte. Für Bessemer-Stahlbleche von 8 mm Dicke mit Löchern von 16 mm Durchmesser und 38 mm Theilung ergaben sich die Resultate zu 38,3 Kilo für die gelochten und 57,1 Kilo für die gebohrten Bleche oder 49 Proc. zu Gunsten des Bohrens. Es wurden drei gelochte und drei gebohrte Bleche dem Versuche unterzogen.

Nach einigen Experimenten mit gelochten Stahlblechen, ausgeführt von Herrn Barnaby in Chatham, ergab sich die Durchschnitts-Bruchbelastung für acht nicht geglühte Bleche 12,7 mm dick zu 33 Kilo pro Quadratmillimeter, während acht ähnliche Bleche, nachdem dieselben geglüht waren, eine bedeutend höhere Festigkeit zeigten. Die Bruchbelastung betrug für diese 51,6 Kilo, also ungefähr 55 Proc. höher als für nicht geglühte Bleche. Ausserdem zeigten die geglühten Bleche eine weit grössere Gleichmässigkeit in der absoluten Festigkeit; die acht Bleche variirten nur um 8,66 Kilo, während die acht nicht geglühten um 14,69 Kilo variirten. Auch bei Biegeversuchen zeigten sich die geglühten Bleche weit zuverlässiger.

Der Spielraum des Durchschlags beim Lochen der Bleche hat ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Beschädigung der Platte. Herr Sharp fand als Resultat aus vier Experimenten, dass, wenn der Spielraum für 17,5 mm Löcher in 12,7 mm nicht

geglühter Platte 4,8 mm betrug, so war dieselbe nach dem Lochen 25 Proc. stärker, als mit einem Spielraum von nur 1,6 mm.

Eine Reihe von Experimenten für denselben Zweck wurde von Herrn E. J. Reid mitgetheilt; dieselben wurden mit Bessemer-Stahlblechen von 12,7 mm Dicke, in welche Löcher von 15,87 mm gelocht waren, ausgeführt. Vier Streifen wurden mit 1,6 mm Spielraum des Durchschlags und vier andere mit 4,8 mm gelocht, und ergab sich eine 10 Proc. grössere Festigkeit zu Gunsten des grösseren Spielraums. Herr Reid erwähnt, dass die Beschädigung der Platten grösstentheils an der unteren Seite stattfindet, und wirklich zeigen sich auch hier bei näherer Betrachtung eine Anzahl kleiner vom Loche ausgehender Risse. Ein grösserer Spielraum beseitigt das Auftreten derselben gänzlich.

Von derselben Autorität liegen Berichte über Experimente mit 6,35 mm dicken, gefrischten Stahlstreifen von 69 mm Breite vor, deren Bruchfestigkeit in der Richtung der Faser 49,6 Kilo und senkrecht hierzu 43,3 Kilo pro Quadratmillimeter betrug. Der durchschnittliche Verlust in beiden Richtungen war etwa 6,3 Kilo weniger für gebohrte als für gelochte Löcher, die Löcher hatten 15,87 mm Durchmesser, wodurch ziemlich $\frac{1}{4}$ des Querschnitts entfernt worden war.

Weitere Experimente mit Streifen von 113 mm Breite mit zwei Löchern von 14,3 mm Durchmesser, wodurch etwas mehr als $\frac{1}{4}$ des Querschnitts entfernt wird, zeigten einen Festigkeitsverlust von etwa 9,4 Kilo für den reducirten Querschnitt.

Einige Versuche mit acht Streifen von 6,35 mm dicken und 102 mm breiten, gefrischten Stahlblechen, in welche je zwei Löcher von 12,7 mm Durchmesser in gleicher Entfernung von einander und den Blechkanten gelocht waren, wurden zu dem Zwecke ausgeführt, die Wirkung des Ausglühens auf gefrischte Bleche zu untersuchen. Vier Streifen wurden ausgeglüht, vier andere nicht, jedoch zeigte sich kein Unterschied in absoluter Festigkeit, ein wesentlich verschiedenes Resultat von dem mit Bessemer-Blechen. Die Bruchbelastung betrug 53,5 und 48,4 Kilo pro Quadratmillimeter in der Richtung und senkrecht zur Faser.

Acht Versuche mit 9,5 mm dicken Blechen aus Tiegelgussstahl ergaben eine Bruchbelastung von 41,49 Kilo in der Faserrichtung und 44,28 Kilo senkrecht dazu. Platten desselben Materials von 7,9 mm Dicke zeigten eine Erhöhung der

absoluten Festigkeit durch Ausglühen nach dem Lochen. Der Verlust an Festigkeit durch das Lochen war in der Längs- und Querrichtung 1 Proc. und $3^3/_4$ Proc. Der Gewinn durch Glühen betrug im Vorzug zu nicht geglühten Blechen 14 Proc. in der Längs- und 12 Proc. in der Querrichtung.

Mariazell-Stahl zeigte nach den Versuchen in Wilhelmshafen eine Bruchbelastung von

46,4 Kilo pro Quadratmillimeter in Richtung der Faser,
48,4 „ „ „ „ senkrecht zur Faser für nicht geglühte Bleche und
47,6 „ „ „ „ in beiden Richtungen für ausgeglühte Bleche.

Die Ausdehnung betrug mit der Faser 20 Proc. und senkrecht dazu 18,67 Proc. Diese Resultate sind ausgezeichnet und zeugen von einem sehr homogenen gleichmässigen Material. Die Versuchsstreifen waren 11 mm dick und 64 mm breit.

Aus obigen Resultaten ergiebt sich, dass Bessemer-Stahl von mehr als 50 Kilo pro Quadratmillimeter Bruchbelastung durch das Lochen sehr bedeutend an Festigkeit einbüsst, und sollte derselbe deshalb entweder gebohrt oder nach dem Lochen wenigstens geglüht werden. Gefrischter Stahl leidet bei Weitem nicht so viel, jedoch lässt sich die verlorene Festigkeit durch Glühen nicht in so hohem Maasse wieder erlangen als dies beim Bessemer-Stahl der Fall ist.

Des geringeren Preises halber macht man Stahlkesselbleche meist aus den weichsten Bessemer-Qualitäten, jedoch wird auch Tiegelgussstahl zu Zeiten verwendet. Die Bruchbelastung dieser Bleche sollte zwischen 42 und 48 Kilo liegen und im Mittel etwa 45 Kilo betragen, ist also nur ungefähr 36 Proc. höher als die Festigkeit von Schmiedeeisen. Die Ausdehnung beträgt von 16 bis zu 25 Proc., wenn die Bleche von guter Qualität sind. Ein Stahlkesselmantel kann nach den kürzlich veröffentlichten neuen Regulationen für Schiffskessel von Lloyd aus 20 Proc. dünneren Blechen angefertigt werden als ein gleicher Kesselmantel aus Eisen für dieselben Verhältnisse. Für innere Rauchrohre mit äusserem Druck darf man jedoch nicht so weit gehen und bei der Berechnung der Festigkeit gegen das Zerdrücken wird man finden, dass man die Blechdicke nur etwa $^1/_6$ reduciren darf, so dass man also an Stelle von 9 mm dickem Eisenblech 7,5 mm dickes Stahlblech benutzen kann. Zu Gunsten der Stahlbleche sei hier noch erwähnt, dass die

verzehrende Einwirkung der Wärme auf dünne Bleche geringer ist, als auf dicke; aus diesem Grunde und weil ferner der härtere Stahl der Abnutzung durch Reibung etc. besser widersteht als Eisen, sind Stahlkessel dauerhafter.

Ausser der Ersparniss an Gewicht beim Gebrauch von Stahl, was oft von grosser Wichtigkeit ist, mag noch erwähnt werden, dass dünne Bleche die Wärme besser mittheilen, und dass daher ein Stahlkessel eine bessere Verdampfungskraft besitzt, als ein eiserner. Der Vorzug ist jedoch genau genommen nicht umgekehrt proportional zur Blechdicke, weil das Verhältniss des Wärmeleitungsvermögens von Eisen und Stahl wie 218 zu 244 ist, und für den Fall von inneren Rauchröhren, den wir vorhin betrachtet haben, gleicht sich das Verhältniss fast aus. Wir werden jedoch noch später im Capitel über Heizfläche sehen, dass selbst für etwas dünnere oder besser leitende Kesselmaterialien auf eine vergrösserte Verdampfung nicht gerechnet werden kann.

Ueber den Einfluss des Rostes auf Stahlkesselbleche wird noch später im Capitel IX. über Abnutzung der Kessel gesprochen werden, es mag jedoch hier erwähnt werden, dass wenn die Verrostung für beide Materialien dieselbe ist, so ist der schädliche Einfluss für die dünneren Bleche bedeutender.

Experimente über die Festigkeit von Nietnähten in Stahlblechen sind von Herrn Kirkaldy ausgeführt und mitgetheilt worden, und geht aus diesen hervor, dass der Nietendurchmesser für mittlere Blechdicken grösser als doppelt der Blechstärke sein sollte. Die zu den Experimenten benutzten Bleche waren alle 4,76 mm dick und 914,4 mm breit, und zerrissen bei einer Belastung von 68,1 Kilo. Einige waren im gewöhnlichen weichen Zustande, andere in Oel gehärtet. In den nicht gehärteten Blechen wurden zwei 11,1 mm Nieten abgescheert und mit zwei Nieten von 14,3 mm Durchmesser wurde die Blechplatte mit einem Verluste von 45,6 und 43,5 Proc. in zwei Fällen zerrissen. Dies ergiebt einen Festigkeitsverlust für den reducirten Querschnitt von 7,2 Proc. Mit einer Belastung von nur 15,9 Proc. geringer als die Bruchbelastung für die solide Platte schnitt das gehärtete Blech einen Niet von 17,46 mm ab, während der andere Niet unbeschädigt blieb und die Ecke der Platte abgerissen wurde. Vereinigt man diese Resultate mit denen Sir W. Fairbairn's über Festigkeit der Nietnähte mit Eisenblechen, so ergiebt sich, dass für ein-

fache Vernietung, wenn die Nieten gerade so gross gewählt werden, dass dieselben vor der Platte zerstört werden, der Festigkeitsverlust im Verhältniss zur soliden Platte ungefähr derselbe für Eisen und Stahl ist; ferner dass warme Nieten die Festigkeit der Nietnaht nicht beeinflussen, und dass in Oel gehärtete und zusammengenietete Stahlplatten ungefähr dieselbe absolute Festigkeit besitzen als nicht genietete weiche Blechplatten von gleichem Querschnitt. Das Härten in Oel hat ausser dem Einfluss des Hartmachens noch den, das Blech zähe zu machen, während durch Härten in Wasser die Festigkeit verringert wurde. Die Bruchbelastung des Nietstahls, welcher für diese Experimente benutzt wurde, betrug 60,6 Kilo, während die Abscheerungsfestigkeit der Nieten in der Naht nur etwa 44,9 Kilo pro Quadratmillimeter, oder 26,2 Proc. weniger als die absolute Festigkeit betrug. Was ferner diese Resultate betrifft, so waren die Stahlbleche von härterer Qualität als man mit Sicherheit für Dampfkessel anwenden würde, und der Gewinn an Festigkeit durch das Härten in Oel war ebenfalls grösser als er sich mit gewöhnlichen weichen Stahlsorten erreichen lässt. Ausserdem war die Festigkeit der Bleche bedeutend grösser als die der Nieten, wodurch der unverhältnissmässig grosse nöthige Durchmesser derselben erklärt sein mag.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass weit mehr Vorsicht nöthig ist beim Erhitzen von Stahlnieten als für Eisennieten, und es ist ferner nöthig, dass dieselben so schnell als möglich niedergehämmert werden, ehe sie Zeit haben, sich abzukühlen, weshalb Maschinennietung für Stahlniete ganz besonders zu empfehlen ist.

Die Anwendung aller Stahlsorten mit Ausnahme der weichsten sollte stets vermieden werden, weil Stahlniete häufig nach dem Vernieten so hart werden, dass es unmöglich ist, dieselben zu entfernen, wenn Reparaturen nöthig werden. Dies mag durch die Abkühlung beim Vernieten oder aber auch durch Wasser, welches häufig benutzt wird, um das Kopfgesenk kalt zu erhalten, verursacht werden. Gewöhnlich ist es leicht genug die Köpfe abzuschlagen, aber die Nietschäfte auszubohren ist sehr häufig ein Ding der Unmöglichkeit und müssen öfter die Blechplatten ausgeschnitten werden.

Die Köpfe von Stahlnieten, wenn nicht sehr vorsichtig behandelt, brechen durch unvorsichtiges Stemmen, durch Schläge oder sonstige rohe Behandlung leichter ab als eiserne.

Aus oben angeführten Gründen haben einige Kesselfabrikanten den Gebrauch von Stahlnieten gänzlich abgegeben und benutzen eiserne Nieten mit Stahlblechen. In den meisten Fällen werden dann auch die gewöhnlichen Verhältnisse von Durchmesser und Theilung beibehalten, jedoch ist es rathsam, die Theilung um ein Geringes zu verkleinern und eine grössere Anzahl kleinerer Niete zu benutzen, um Dichtheit der Nietnaht zu sichern. In schmiedeeisernen doppelt genieteten Ueberblattungsnähten und in einfach und doppelt genieteter Kettenvernietung ist die Festigkeit der Nieten gewöhnlich grösser als die der Bleche bis zu Blechdicken von 12 mm. Benutzt man dieselben Verhältnisse für eiserne Nieten und Stahlbleche, so gleicht sich dies mehr aus, und Nieten und Bleche sind ungefähr gleich stark.

Herr Kirkaldy berichtet zwei Experimente über die Festigkeit von geschweissten Stahlstäben. Die Resultate waren sehr unbefriedigend, der eine Stab brach bei einer Belastung 45 Proc. unter der Bruchbelastung und der andere mit einem Verlust von 59,6 Proc. Zwei andere Stahlstäbe zerbrachen in der Schweissstelle, während die Köpfe für die Probe an den Enden hergerichtet wurden. Da die Bruchbelastung dieses Stahls 79 Kilo per Quadratmillimeter betrug, so mag derselbe zum Schweissen nicht so geeignet gewesen sein wie weichere Stahlsorten. Man nimmt gewöhnlich und nicht mit Unrecht an, dass Bessemer-Stahl mit einer Bruchbelastung von 55 bis 70 Kilo sich schlecht härten und schweissen lässt. Von geringerer Festigkeit und Härte kann er nicht gehärtet, wohl aber geschweisst werden, Stahl von grösserer Festigkeit und Härte lässt sich härten, aber nicht schweissen.

Folgende Biegeproben sind die von Cammel u. Co. in Sheffield für Stahlbleche angegebenen:

Biegeprobe (warm). — Alle Bleche in Platten von 25 mm Dicke und darunter lassen sich warm um 180^0 biegen, sowohl in der Richtung der Faser als auch senkrecht dazu.

Biegeprobe (kalt). — Alle Bleche lassen sich kalt ohne Bruch, wie in folgender Tabelle angegeben, biegen:

Bessemer-Bleche: Bruchbelastung in Faserrichtung 52 Kilo pro Quadratmillimeter.

Dicke in mm	In Richtung der Faser	Senkrecht zur Faser	Dicke in mm	In Richtung der Faser	Senkrecht zur Faser
25	45°	25°	11	90°	70°
22	50°	30°	9,5	110°	80°
19	60°	40°	8	120°	90°
16	70°	50°	6,4	120°	100°
13	80°	60°	und darunter		

Tiegelgussstahl: Bruchbelastung in der Faserrichtung 59,8 Kilo pro Quadratmillimeter.

Dicke in mm	In Richtung der Faser	Senkrecht zur Faser	Dicke in mm	In Richtung der Faser	Senkrecht zur Faser
25	50°	30°	11	130°	100°
22	60°	35°	9,5	150°	110°
19	75°	50°	8	180°	120°
16	90°	70°	6,4	180°	120°
13	110°	90°			

Nach den Resultaten der Versuche in Wilhelmshafen überbietet Mariazellstahl diese Biegungsproben ganz bedeutend. Der verwendete Stahl hatte eine Bruchbelastung von allerdings nur 47 Kilo pro Quadratmillimeter im Mittel, liess sich jedoch bei 11 mm Dicke kalt und warm ohne Beschädigung auf 180° biegen, auf 90° nach innen umgebörtelt sowohl als ein Kugelsegment mit Rand waren ausgezeichnet, beide im Schmiedefeuer erhitzt.

Diese Stahlsorten sind jedoch sämmtlich für Kesselbleche zu hart und können dafür nicht verwandt werden. Die neuesten

Stahlproben, welche vom Lloyd für Kesselbleche vorgeschrieben werden, geben als Grenzen der absoluten Festigkeit 42 bis 48 Kilo pro Quadratmillimeter an, und scheint 45 Kilo die empfehlenswertheste Festigkeit für Stahlbleche zum Kesselbau zu sein. Allerdings ist durch diese Reduction an absoluter Festigkeit eine der ursprünglich besonders angestrebten Eigenschaften, die grössere Festigkeit, verloren gegangen, und liegt der Hauptwerth des Stahls jetzt darin, dass die Homogenität desselben eine vollkommenere ist, als die der besten Eisensorten.

Viertes Capitel.

Vernietung.

Bis es gelingt, Kessel und Rohre von grossem Durchmesser aus einem soliden Eisenblech ähnlich wie Radreifen zu rollen, oder in der Weise wie Röhren von geringem Durchmesser zu ziehen, müssen die Kanten von Eisen- und Stahlblechen entweder durch Schweissen oder Vernieten vereinigt werden. Nur sehr wenige oder wohl gar keine Ingenieure werden heute zu finden sein, welche die Ansicht aufrecht erhalten, dass eine einfache Vernietung in einem neuen Kessel stärker sei als das Kesselblech; trotzdem war dies noch vor etwa vierzig Jahren die allgemeine Auffassung, wie unwahrscheinlich es auch heute erscheinen mag. Erst nachdem der Fehler durch mehrfache directe Experimente nachgewiesen war, wurde diese Ansicht verworfen. Durch welche Folgerung diese Ansicht entstand, ist schwer zu ersehen, vielleicht wurde die Verbindung der Bleche für eine vollkommene gehalten, woraus sich natürlich die Folgerung ziehen lassen würde, dass die doppelte Blechdicke stärker sein müsste als die einfache. Der Werth des

Anzuges des Nietes beim Abkühlen mag auch für weit bedeutender gehalten worden sein, als wir heute demselben geneigt sind zuzuschreiben.

Ganz allgemein betrachtet sind die Nietnähte die schwächsten Stellen in einem neuen Kessel, wenn nämlich die übrigen Theile vernünftig verstärkt sind, wie die Dampfdome, Mannlöcher u. s. w. Da nun die Stärke eines Gegenstandes stets nach der schwächsten Stelle, die Stärke einer Kette nach der des schwächsten Gliedes beurtheilt werden muss, so ist die Vernietung von grösster Wichtigkeit.

Vernietungen können von verschiedener Art sein: Diejenigen, mit welchen wir hier besonders zu thun haben, sind erstens: einfach und doppelt genietete Ueberblattung, und zweitens: einfach und doppelt genietete Stossfuge mit Laschen. Letztere können noch entweder mit einfachen oder doppelten Deckstreifen (Laschen) ausgeführt werden. In doppelt genieteten Nähten können die Nieten entweder in zwei parallelen Reihen hinter einander, oder im Zickzack gestellt sein, die letztere Methode ist die für Dampfkessel empfehlenswertheste.

Die Nieten selbst sind von verschiedener Form, die Verschiedenheit bezieht sich auf die Kopfform. Man benutzt den gewöhnlichen conischen Kopf, welcher durch Niederhämmern mit leichten Hämmern erzeugt wird. Diese Form wird stets dann angewendet, wenn der zum Vernieten des Kopfes vorhandene Raum beschränkt ist, wie z. B. bei Reparaturen an Dampfkesseln. Obwohl derselbe auch in neuen Kesseln gelegentlich angewendet wird, so ist er doch nicht mehr so beliebt wie früher, weil er weiter nichts Empfehlenswerthes besitzt, als die Leichtigkeit der Herstellung, und das allerdings gute Aussehen bei guter Ausführung. Der dünne Kopf bietet dem Angriff von Stoss nicht so viel Widerstand, wie der runde Kopf. Die Höhe des conischen Nietkopfes variirt in verschiedenen Werken, sollte jedoch nicht unter $^3/_4$ des Nietdurchmessers betragen. Häufig ist derselbe zu flach, wodurch, ausser dem geringen Material gegen Rostangriff, der Kopf beim Hämmern gewöhnlich sehr spröde wird, und oft schon durch einen Schlag mit dem Handhammer abspringt. Diese Sprödigkeit wird erstens durch die schnelle Abkühlung des kurzen Nietes, wenn derselbe in das Nietloch gesteckt wird, und zweitens durch das kalte Hämmern erzeugt, welchem derselbe beim Fertignieten ausgesetzt ist.

Der halbkugelige Nietkopf ist der beste, und wird durch theilweises Niederhämmern des Nietes und nachheriges Façonniren mit dem Gesenk- und Vorschlaghammer hergestellt. Die Höhe dieses runden Kopfes soll ungefähr $^5/_8$ des Nietdurchmessers betragen, jedoch findet man sehr verschiedene Ausführungen von $^1/_3$ bis $^3/_4$ des Durchmessers. Der Kopfdurchmesser unterliegt ähnlichen Variationen; die gewöhnliche Praxis ist, dem Kopf für Nieten von 16 bis 22 mm Durchmesser 25 bis 38 mm zu geben.

Die meisten Fabrikanten vermeiden es, den Kopf, wo er am Blech anliegt, cylindrisch zu gestalten, sondern lassen ihn lieber in eine scharfe Kante auslaufen, um das Stemmen zu erleichtern. Diese Form ist für Maschinenvernietung die beste, weil hier der Kopf nicht mit dem Gesenk wie bei der Handarbeit fertig gemacht werden kann, sondern noch nachträgliches Putzen und Stemmen erfordert.

Der versenkte Kopf wird dadurch hergestellt, dass das Nietende in eine conische Versenkung hineingehämmert wird, worauf gewöhnlich nachträglich das Ueberstehende mit Meissel und Hammer geputzt wird. Trotzdem diese Art der Vernietung im Schiffbau und anderen Branchen des Maschinenbaues ausgedehnte Anwendung findet, benutzt man dieselbe im Kesselbau nur da, wo zur Anbringung von Armaturen ebene Flächen nöthig sind. Die versenkten Nieten sind stets da zu vermeiden, wo dieselben zur Befestigung von Winkeln und T-Eisen für Anker u. dergl. dienen, kurz da, wo dieselben auf absolute Festigkeit in Anspruch genommen sind. Unter solchen Verhältnissen geben sie nicht nur Veranlassung zu Lecken, sondern der Kopf, der nur eine geringe Verbindung mit dem Blech hat, kann bei einem viel geringeren Zug durchgezogen werden, als der, welcher im Stande sein würde den Niet zu zerreissen.

Bei der Wahl der Nietlänge sollte man für conische und runde Köpfe etwa $1^1/_4$ Durchmesser und für versenkte Köpfe 1 Durchmesser erlauben. Für Maschinennietung ist es nöthig, hierzu noch 3 bis 6 mm in der Länge zuzugeben. Die Schliessköpfe der Nieten werden gewöhnlich von flacher Pfannenform gemacht, mit Ausnahme bei Maschinennietung, wo die runden oder ähnliche Formen fast ausschliesslich in Anwendung kommen. Beim Herstellen der Schliessköpfe können die Niete entweder kalt oder warm benutzt werden; die erstere Methode soll in den Vereinigten Staaten in einiger Ausdehnung An-

wendung finden, wird jedoch sonst wenig benutzt. Das Schliessen des Nietes kann entweder durch Handhämmer oder mit Maschinen geschehen, die durch Dampf, Wasserdruck oder auch comprimirte Luft betrieben werden.

Die Maschinennietung füllt das Nietloch besser als die Handvernietung; der bedeutende Druck vertheilt sich über die ganze Masse des Nietes besser als die stets mehr örtlich wirkenden, rasch auf einander folgenden Hammerschläge. Der Fehler, dass der Niet das Loch nicht vollständig füllt, wird häufig noch dadurch vermehrt, dass die Hammerschläge auf den Rand des Nietes gerichtet werden, wodurch schneller ein Kopf gebildet wird, statt zuerst die Schläge senkrecht auszuüben, um den Niet möglichst zu stauchen, und das Loch vollständig zu füllen.

Ein beim Maschinennieten möglicher Nachtheil ist, dass die Bleche nicht dicht aneinander gepresst werden, und ein Theil des Nietes zwischen beiden einen kleinen Ansatz erhält, wodurch eine bleibende Trennung derselben eintritt, während doch die Flächen in möglichst vollständiger Berührung sein sollten. Da der Druck der Nietmaschine erst auf das Blech wirkt, wenn der Kopf fertig ist, so ist die Naht häufig nicht so dicht wie beim Handnieten, wo der Arbeiter die ersten paar Schläge auf das Blech ausübt, und dasselbe dadurch dicht zusammen bringt.

Die hydraulische Vernietung findet allmäliger statt und ist im Allgemeinen der Dampfvernietung vorzuziehen; bei der letzteren Methode nimmt der Druck mehr die Form eines starken Schlages an, und der Niet hat nicht so viel Zeit, das Loch vollständig auszufüllen, wie beim hydraulischen Nieten. Trotzdem ist dieselbe immer noch dem Handnieten vorzuziehen.

Nach den Resultaten zahlreicher Experimente von verschiedenen Autoritäten stellt sich die absolute Festigkeit von gutem Nieteneisen auf 37,8 bis 39,4 Kilo pro Quadratmillimeter. Jedoch nur in den seltensten Fällen ist in einem Kessel ein Niet auf absolute Festigkeit in Anspruch genommen; dies findet nur in den Böden, in den Befestigungstheilen für Anker und einigen anderen Stellen statt, wo der Druck das Bestreben hat, den Kopf vom Niet zu trennen. In der gewöhnlichen und einfachen Laschennietnaht ist der Niet auf einfache Abscheerung beansprucht, in der doppelten Kettennietnaht muss der Niet

zweifach abgescheert werden, ehe die Bleche sich von einander trennen können.

Durch Experimente hat sich ebenfalls herausgestellt, dass die Abscheerungsfestigkeit proportional zum Querschnitt wächst, und gleich der absoluten, also hier etwa 38 Kilo, angenommen werden kann. Da ein Niet, der auf doppelte Abscheerung in Anspruch genommen ist, hiernach einen dem doppelten Querschnitt proportionalen Widerstand besitzt, so müsste derselbe natürlich die zweifache Festigkeit besitzen, wie ein auf einfache Abscheerung beanspruchter Niet. Wegen anderer hier in Betracht kommender Umstände kann dies jedoch nicht ohne Weiteres als auf Kesselniete anwendbar benutzt werden. Die Stärke des Nietes wird durch das Erhitzen und Hämmern zur Herstellung des Kopfes und durch die in demselben stattfindende, durch die Abkühlung erzeugte Spannung beeinträchtigt.

In einigen von der Admiralität zu Chatham ausgeführten Experimenten mit Nieten von 19 mm Durchmesser aus bestem Yorkshire-Eisen ergab sich eine Abscheerungsfestigkeit für einfache Abscheerung von 10182 Kilo und von 18327 Kilo für doppelte Abscheerung. Diese Zahlen correspondiren ziemlich genau mit 36 und 32 Kilo pro Quadratmillimeter. Doyne fand aus einer Reihe von Experimenten mit Nieten von verschiedenen Dimensionen in gewöhnlicher Vernietung eine durchschnittliche Abscheerungsfestigkeit für einfache Abscheerung von 29,64 Kilo pro Quadratmillimeter und von 26,77 Kilo für doppelte Abscheerung. Da jedoch die absolute Festigkeit des Nieteisens nicht angegeben ist, so lässt sich der durch das Vernieten verursachte Verlust an Stärke nicht berechnen.

Wendet man dünne Stahlplatten an, so ist die Abscheerungsfestigkeit eiserner Niete eine geringere; dieser Umstand ist wahrscheinlich dadurch begründet, dass der härtere Stahl in das Eisen einschneidet. Als einen Durchschnittswerth von acht Experimenten fand Sharp mit Stahlblechen und Eisennieten eine Abscheerungsfestigkeit von 29,42 Kilo pro Quadratmillimeter.

Wir dürfen nach Obigem im Allgemeinen die Abscheerungsfestigkeit des Nietes als der der absoluten Festigkeit des Bleches gleich setzen, und als Durchschnittswerth 33 Kilo pro Quadratmillimeter annehmen. Es ist selbstverständlich, dass die Verkürzung des Nietes beim Abkühlen, die Bleche zwischen

beiden Nietköpfen dicht aneinander pressen muss. Die hierdurch verursachte Spannung vermindert allerdings die Festigkeit des Nietes, trägt jedoch wesentlich zur Dichtheit der Nietnaht bei. E. Clark erwähnt in seinem Werke über die Britannia- und Conway-Röhrenbrücke einige interessante Experimente zur Feststellung der durch Abkühlung des Nietes verursachten Reibung, und begleitet diese Angaben mit ausgezeichneten Bemerkungen:

„Die Verkürzung eines schmiedeeisernen Stabes beträgt etwa $^1/_{10000}$ seiner Länge für eine Temperaturabnahme von 8^0 C. und die hierdurch erzeugte Spannung beträgt etwa 1,57 Kilo pro Quadratmillimeter Querschnitt.' Nehmen wir nun an, ein Niet von 100 Quadratmillimeter Querschnitt würde bei 480^0 C. geschlossen, so würde derselbe durch Abkühlung eine Verkürzung von $^{60}/_{10000}$ seiner Länge erleiden, und folglich eine Spannung von 94,50 Kilo eintreten. Da jedoch die absolute Festigkeit von Nieteisen nur zu 33 Kilo angenommen wurde, so müsste der Niet beim Abkühlen eine dauernde Ausdehnung erfahren und würde, wenn kalt, eine Spannung von 33 Kilo pro Quadratmillimeter Querschnitt ausüben; angenommen die Elasticität desselben würde nicht zerstört und der Niet läge nur mit beiden Köpfen dicht an dem Bleche an, so würde zwischen den Blechen eine Reibung von 3300 Kilo stattfinden, und diese Reibung müsste erst überwunden werden, ehe der Niet auf Abscheerung in Anspruch genommen würde."

„Folgende Experimente wurden angestellt, um den Werth der Reibung festzustellen, welche durch die Abkühlung und Verkürzung eines Nietes verursacht wird, und die zur Verschiebung der Bleche auf einander nöthige Kraft zu bestimmen. Drei Platten von 16 mm Dicke wurden durch einen Niet von 22,5 mm Durchmesser zusammengenietet, jedoch so, dass das Loch in der mittleren Platte bedeutend grösser als der Nietendurchmesser und oval hergestellt war; die grösste Länge desselben betrug 63 mm. Hierauf wurde das Ganze vertical aufgehängt und die mittlere Platte mit Gewichten beschwert. Bei einer Belastung von 5691 Kilo verschob sich dieselbe plötzlich und legte sich auf den Niet auf."

„Dasselbe Experiment wurde wiederholt, jedoch nietete man diesmal unter jeden Nietkopf ein Blechstück von 12,5 mm, wodurch der Nietschaft eine Länge von 73 mm erhielt; in diesem Falle rutschte die Blechplatte bei einer Belastung von

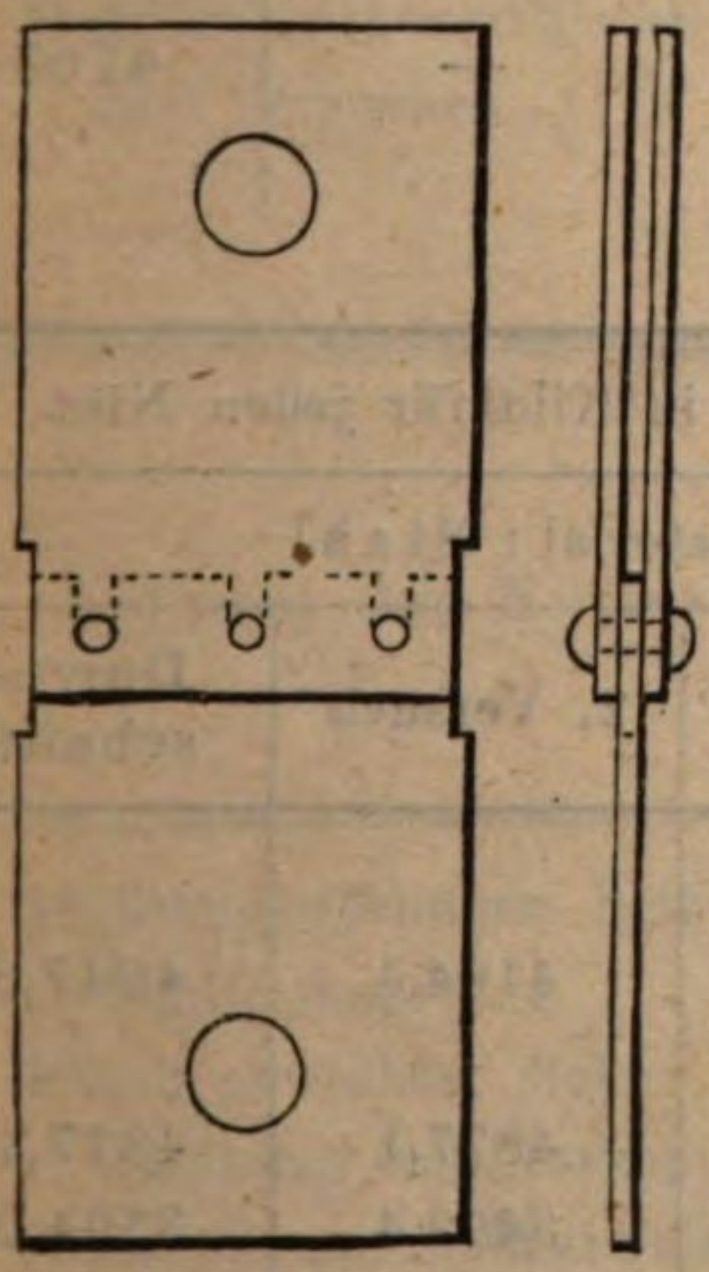
4550 Kilo. Da es sich zeigte, dass der Niet bei diesem Experimente fehlerhaft gewesen, wurde dasselbe wiederholt, und die Verbindung rutschte erst bei 8025 Kilo.“

„In dem hierauf folgenden Experimente wurden zwei Bleche von 8 mm Dicke durch einen 22,5 mm starken Niet mit Unterlegscheiben unter jedem Kopf von 8 mm Dicke zusammengehalten. Diese Verbindung ertrug eine Belastung bis zu 4815 Kilo.“

In dem Werke über den Bau von Schiffen giebt E. J. Reed eine mehr detaillirte Beschreibung von Experimenten, welche für denselben Zweck angestellt wurden:

„Drei Blechtafeln wurden kettenartig mit einander verbunden, so dass die Enden der beiden äusseren Bleche das des inneren überdecken. Die Platten wurden durch drei Niete verbunden, so dass die Niete die Löcher in beiden äusseren Platten vollständig füllten, während die Löcher in der mittleren bis ans Ende geschlitzt waren, wie aus der Fig. 2 ersichtlich ist. Es ist klar, dass wenn die mittlere Platte belastet wird, so lässt sich das Gewicht, welches ein Rutschen verursacht und damit also die Reibung, messen.“

Fig. 2.



In diesen Experimenten wurden folgende Verhältnisse gewählt:

Die Nietnaht drei Durchmesser breit, die Theilung vier Durchmesser. Es wurden Niete mit halbkugeligem Schliess- und Setzkopf, flach gewölbtem Setzkopf und conischem Schliesskopf, und auf beiden Seiten versenkte Niete angewendet. In der ersten Reihe von Experimenten wurde Blech von 12,5 mm, Nieten von 19 mm und Blechstreifen von einer Gesammtbreite von 210 mm verwendet. Als Material wurde zuerst in allen Theilen Eisen, und sodann Stahl in allen Theilen, für Bleche und Nieten verwendet. Die Resultate waren folgende:

Blechdicke 12,5 mm, Nietdurchmesser 19 mm,
Blechbreite 210 mm.

Form des Nietes	Reibung in Kilo für jeden Niet		
	Material: Eisen		
	1. Versuch	2. Versuch	Durchschnitt
Halbkugelförmiger Setz- u. Schliesskopf	5233,5	4286,5	4760
Flach gewölbter Setz- und conischer Schliesskopf . .	5355,6	4897,5	5126
Versenkt auf beiden Seiten .	4643,0	3808,0	4225
Durchschnittswerth aus den drei Versuchen	—	—	4703

Form des Nietes	Reibung in Kilo für jeden Niet		
	Material: Stahl		
	1. Versuch	2. Versuch	Durchschnitt
Halbkugelförmiger Setz- u. Schliesskopf	3930,2	4164,4	4047,3
Flach gewölbter Setz- und conischer Schliesskopf . .	4877,1	4877,1	4877,1
Versenkt auf beiden Seiten .	3696,0	3492,4	3594,2
Durchschnittswerth aus den drei Versuchen	—	—	4172,9

Eine zweite Reihe von Experimenten mit denselben Verhältnissen, aber Blechdicke 22 mm, Nietdurchmesser 25,4 mm, Breite der Blechstreifen 280 mm. Als Material wurden wieder erst Eisen und sodann durchgehend Stahl benutzt; die Resultate waren folgende:

Blechdicke 22 mm, Nietdurchmesser 25,4 mm,
Blechbreite 280 mm.

Form des Nietes	Reibung in Kilo für jeden Niet		
	Material: Eisen		
	1. Versuch	2. Versuch	Durchschnitt
Halbkugelförmiger Setz- u. Schliesskopf	5946,2	5742,5	5844,4
Flach gewölbter Setz- und conischer Schliesskopf . .	6995	7371,6	7183,3
Versenkt auf beiden Seiten .	4643	4164,4	4403,6
Durchschnittswerth aus den drei Versuchen	—	—	5810,4

Form des Nietes	Reibung in Kilo für jeden Niet		
	Material: Stahl		
	1. Versuch	2. Versuch	Durchschnitt
Halbkugelförmiger Setz- u. Schliesskopf	6547,0	5589,8	6068,4
Flach gewölbter Setz- und conischer Schliesskopf . .	5589,8	nicht ausgeführt	5589,8
Versenkt auf beiden Seiten .	5233,5	4999,3	5116,4
Durchschnittswerth aus den drei Versuchen	—	—	5591,5

Es scheint hieraus hervorzugehen, dass Nieten mit flach gewölbten Setzköpfen und conischen Schliessköpfen den Vorzug vor beiden anderen Vernietungsmethoden haben. Die einzige Ausnahme ist in der zweiten Reihe von Experimenten mit Stahlplatten und Nieten (S. 75) zu finden; da jedoch nur eine Ausnahme vorhanden ist, so kann man darauf weiter

keine Rücksicht nehmen. Es geht ferner aus diesen Experimenten hervor, dass versenkte Köpfe eine weit geringere Reibung erzeugen als die anderen Methoden. In einem Vergleich wird man sofort sehen, dass mit nur einer Ausnahme die Reibung zwischen Stahlplatten geringer ist als zwischen Eisen. Die Benutzung grösserer Niete bei derselben Theilung erzeugt grössere Reibung, jedoch scheint diese Zunahme keinem regelrechten Gesetze zu folgen.

Trotzdem nun diese Versuche nicht ein absolutes Maass für die wahrscheinliche Reibung, für verschiedene Nietendurchmesser und Theilung geben, so zeigen dieselben doch, wieviel die Festigkeit einer Nietnaht durch die Contraction des Nietes vergrössert wird.

Nehmen wir als Reibungscoefficienten von Schmiedeeisen auf Schmiedeeisen 0,18 und als Spannung im Niet selbst die höchste Zahl 38,8 Kilo pro Quadratmillimeter, so würden wir ein Gewicht von 6,98 Kilo für jeden Quadratmillimeter Nietquerschnitt brauchen, um die erzeugte Reibung zu überwinden. Die Ergebnisse der Resultate sind bedeutend höher, jedoch mag dies an der durch unreine Flächen erzeugten grösseren Reibung seinen Grund haben. Danach würde nach obiger Betrachtung die Reibung für einen Niet von 25,4 mm Durchmesser nur etwa 3540 Kilo betragen, während nach dem Experimente dieselbe im Durchschnitt 5810 Kilo betrug.

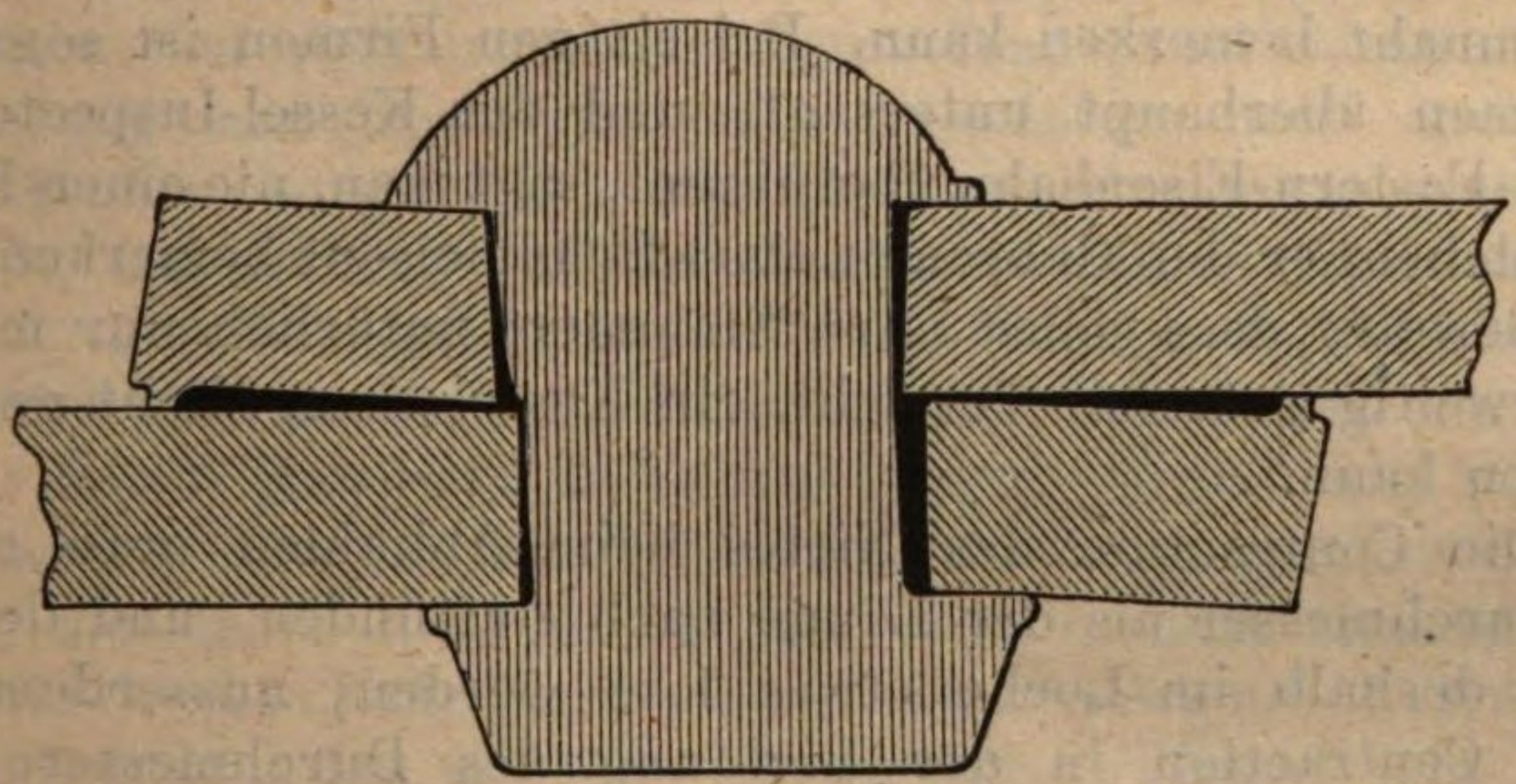
Es muss jedoch nicht angenommen werden, dass in der Berechnung der Festigkeit für eine Nietnaht die Reibung zur Abscheerungsfestigkeit addirt werden dürfte. Trotzdem diese beiden Festigkeitselemente in einem gut gefüllten Nietloche zusammen wirksam sind, können dieselben nicht als selbständig wirkend angesehen werden. Der durch die Construction gewonnene Vortheil auf einer Seite wird bis zu einem gewissen Grade durch den Verlust an Festigkeit, der durch die Spannung im Niet verursacht ist, aufgehoben.

Die Art und Weise, in welcher eine sehr hohe Zugkraft eine gewöhnliche Nietnaht in Anspruch nimmt, ist in Fig. 7 Seite 87 dargestellt, und wird unter diesen Verhältnissen gleichzeitig die Reibung vermindert. Schon lange ehe die Festigkeitsgrenze der Nietnaht erreicht ist, besonders bei einfacher Nietung, wird die Reibung zwischen den Platten soweit verringert sein, dass dieselbe keinen wesentlichen Einfluss mehr auf die Festigkeit haben kann.

In alten Kesseln ist es sehr wahrscheinlich, dass die Spannung im Niet allmälig geringer wird, weil durch die fortwährende Inanspruchnahme und Temperaturänderung die Textur des Eisens sich schliesslich ändert. Es ist jedoch nicht gesagt, dass die Reibung zwischen den Platten in gleichem Maasse abnimmt, weil die Berührung der Flächen nach längerer Zeit eine vollkommenere werden wird.

Ohne Zweifel wird auch durch zu bedeutendes Verstemmen, wie dasselbe leider noch vielfach angewendet wird, dazu beigetragen, die Reibung zwischen den Platten zu verringern, besonders wenn dieselben dünn sind. Fig. 3 illustrirt in etwas

Fig. 3.



übertriebenem Maasse die Weise, in welcher Bleche durch zu starkes Stemmen von einander getrieben werden, wenn dasselbe mit einem schmalen Stemmeisen und schweren Hammer ausgeführt wird. Wenn das Stemmeisen sehr dünn ist, so wird es selbst manchmal zwischen die Nietnaht getrieben, und öffnet diese natürlich dadurch. Seitdem es in allen guten Kesselfabriken zur Regel geworden, die Blechkanten gerade zu hobeln, ist ein starkes Stemmen überhaupt unnöthig geworden. Diese Methode hat jedoch nicht nur den Vortheil des leichten Stemmens, besonders wenn die Kante etwas abgeschrägt ist, sondern man erreicht dadurch auch eine regelmässigere Breite der Nietnaht, als wenn man die Bleche mit dem Meissel bearbeitet, und dieser Umstand trägt wesentlich zur leichteren Herstellung einer dampfdichten Naht bei.

Unter manchen schwierigen Verhältnissen, wo es schwer ist, eine Nietnaht dicht zu erhalten, ist eine zu grosse Breite

derselben entschieden schlechter als eine etwas geringere. $1\frac{1}{2}$ Durchmesser von der Mitte des Nietloches bis zur äusseren Blechkante ist für alle Umstände ausreichend. Uebertriebenes und unvorsichtiges Stemmen sind für die Erhaltung des Kessels oft mehr nachtheilig, als man häufig glaubt. An der inneren Seite verursacht es oft Furchen und Bruch, und selbst wo keine Furche zu bemerken war, folgt der Riss in einem explodirten Kessel oft mit Vorliebe der Stemmlinie statt der Nietreihe.

In allen besseren Firmen benutzt man Stemmeisen von ganz bedeutender Dicke, so dass entweder der grösste Theil der Blechdicke, oder in manchen Fällen die Gesammtdicke des Bleches den Schlag aufnehmen, und man also dann keine Stemmnaht bemerken kann. Bei einigen Firmen ist sogar das Stemmen überhaupt untersagt, und der Kessel-Inspector der Great-Eastern-Eisenbahn übernimmt, sagt man, nie einen Kessel, an welchem er den Gebrauch eines Stemmeisens bemerken kann. Ein Beweis, dass selbst ohne Stemmen, natürlich nur mit der anderweitig grössten Vorsicht, ein Kessel dampfdicht gemacht werden kann.

Die Contraction des Nietes beim Abkühlen muss sowohl im Durchmesser als der Länge nach stattfinden, und derselbe muss deshalb im Loche etwas lose werden, ausserdem wird diese Contraction in der Richtung des Durchmessers noch durch die Spannung in der Längsrichtung vergrössert. Trotzdem ist dieselbe immerhin nur sehr gering, was sich daraus ersehen lässt, dass in Querschnitten von mit Maschine genieteten Nähten, welche man der Untersuchung halber hergestellt hat, oft die Linie zwischen Niet und Platte gar nicht zu finden ist.

Es wird manchmal behauptet, dass der rothwarme Niet eine schädliche Einwirkung auf das dicht um das Loch lagernde Eisen, besonders in harten stahlartigen Platten, ausüben kann, und zwar um so mehr, je rascher der Niet abgekühlt wird. Aus diesem Grunde, und um gleichzeitig die durch Abkühlung verursachte Spannung im Niet zu vermeiden, haben manche Ingenieure die kalte Vernietung vorgeschlagen. Dieselbe hat jedenfalls den Vortheil, dass nur das allerbeste Eisen als Material für die Niete Verwendung finden kann, und dass die Nietlöcher absolut passen müssen. Auf der anderen Seite wird behauptet, dass das Kalthämmern dem Nietkopf schaden müsse, und aus diesem Grunde kommt auch der conische

Kopf allmälig ausser Gebrauch. Wir wollen jedoch kaum behaupten, dass der Grad des Hämmerns, welcher ein schlechtes Eisen untauglich machen würde, einen schädlichen Einfluss auf Eisen guter Qualität ausüben müsste.

Wenn die Länge des Nietes bedeutend ist, wie z. B. in dem Feuerthürringe und dem Feuerbüchsrahmen von verticalen und Locomotivkesseln, hat die Abkühlung häufig einen sehr bedeutenden, oft gefährlichen Einfluss auf den Niet, indem der Kopf abspringt. Da die Contraction proportional der Länge ist, so würde es nicht leicht sein einzusehen, warum die Länge einen Einfluss ausüben sollte, jedoch wird die grösste Spannung dort ausgeübt werden, wo der Niet am längsten warm bleibt, also dicht unter dem Kopfe.

Ausser den oben berücksichtigten Inanspruchnahmen von Abscheerung und Spannung sind Kesselniete noch anderen harten Proben ausgesetzt. Die Köpfe werden manchmal bei schlechter Behandlung auf dem Transport aussen abgestossen, während dieselben innen durch unvorsichtiges Handhaben der Instrumente zum Lösen von Kesselstein beschädigt werden.

Die durch Hämmern beim Ausbessern verursachte Vibration bewirkt ebenfalls häufig das Loslösen von spröden Niet köpfen, die dann unter Feuer etwas verbrannt, und später leicht durch die Feuereisen abgestossen werden. Aus allen diesen Gründen ist es sehr nothwendig, Nieten nur aus bestem Eisen anzufertigen. Trotzdem ist dies leider durchaus nicht der Fall, und die grossen Quantitäten von schlechten Nieten, welche im Handel sind, beweisen zur Genüge die Gier, Sorglosigkeit und den Unverstand des Fabrikanten und Käufers, von denen oft der eine soviel Schuld trägt, wie der andere.

Während Nietköpfe aus schlechtem Eisen oft schon durch einige Schläge mit dem Handhammer losgelöst werden können, erfordert es 12 bis 20 kräftige Schläge mit dem Vorschlaghammer, um den Kopf eines guten 20 mm starken Nietes loszuschlagen. Bei gewöhnlichem Eisen ist keine oder nur geringe Verzerrung des Nietes bemerkbar, während bei sehr gutem Eisen ein vollständiger Bart, über das Nietloch reichend, gebildet ist, ehe der Kopf sich vom Nietschaft trennt.

Nietlöcher können gelocht oder gebohrt werden. Beide Methoden haben ihre Liebhaber, welche fortwährend den Vorzug des von ihnen verfolgten Systems vertheidigen. Der

gewöhnliche, für das Lochen angegebene Grund ist eine Ersparniss von ein Drittel bis ein Sechstel an Zeit und Arbeit im Vergleich zum Bohren, allerdings für den Fabrikanten ein sehr entscheidender Vortheil, der jedoch bei der Anwendung von Viel-Bohrmaschinen mit mechanischem Vorschub sehr wesentlich reducirt wird. Die Form des gestanzten Nietloches, welches etwas conisch und versenkt ist, wird von Vielen für eine dichte Nietnaht für vortheilhafter gehalten, als die des gebohrten Loches, welches cylindrisch ist. In vielen Kesselschmieden fehlt es auch an der nöthigen Maschinenzahl, um das Bohren mit hinlänglicher Vorsicht und Ruhe ausführen zu können, welche nöthig ist, um ein rundes Loch zu bohren. Die Stanze verursacht keinen Grat wie der Bohrer; in letzterem Falle sollte dieser stets entfernt werden, jedoch wird dies zuweilen vergessen. Wenn zwei Bleche zusammen gebohrt werden, ist es ebenfalls nöthig den Grat zu entfernen, weil derselbe sonst das dichte Anliegen verhindern würde.

Als ein Vorzug für das Bohren wird oft erwähnt, dass vorgezeichnete Löcher mit grösserer Genauigkeit gebohrt werden können, als dies beim Stanzen oder Lochen möglich ist. Dies ist unzweifelhaft von sehr grosser Wichtigkeit, wenn sich die Behauptung aufrecht erhalten lässt, denn halbverdeckte Nietlöcher sind ein Verderben für Kesselnietung. Viele behaupten jedoch, und nicht mit Unrecht, dass ein vorsichtiger tüchtiger Arbeiter ein Loch ebenso genau lochen kann, wie es gebohrt wird, ausgenommen wenn beide Bleche zusammen gebohrt werden. In einigen Kesselschmieden sichert man die Genauigkeit der gestanzten Löcher durch eine selbstthätige Vorschubeinrichtung für die Blechtafel. Wo die Mittelpunkte der Löcher durch einen Körnerschlag gezeichnet sind, benutzt man häufig einen Durchschlag, welcher im Mittelpunkte mit einem kleinen Körner versehen ist, und sichert hierdurch jedenfalls dieselbe Genauigkeit, die man für das Bohren behaupten kann. Ein etwas zweifelhafter Grund für den Vorzug gebohrter Löcher ist der, dass sich die Niete bei etwa vorkommenden Reparaturen leichter herausschlagen lassen. Der Hauptvorzug des Bohrens vor dem Lochen liegt jedoch darin, dass beim Bohren das Blech nicht beschädigt wird.

Alle Arten von Kesselblechen, die dieses Namens würdig sind, halten das Lochen aus, und in der grossen Mehrzahl von Fällen ohne irgend welche Spur von Schaden zu zeigen,

der ihnen aus diesem Processe erwachsen wäre. Trotzdem hat die Qualität der Platte einen wesentlichen Einfluss auf die Art und Weise, in welcher dieselbe die rohe Procedur erträgt, welcher sie in der Lochmaschine unterzogen wird. Geringere und schlecht gefrischte Platten, welche spröde sind, leiden bedeutend mehr, als solche von dehnbarer Qualität. In einer gewöhnlichen Schiffsplatte würde ein in der üblichen Entfernung von $1^1/_2$ Durchmesser von der Kante gestanztes Loch wahrscheinlich einen Bruch verursachen. Es sind jedoch nicht immer die besten Marken, welche das Lochen mit dem geringsten Schaden aushalten. Einige der besten Yorkshire-Platten sind von harter widerspenstiger Structur, trotzdem sie dehnbar sind, und halten deshalb das Lochen nicht so gut aus, wie manche der weicheren Süd-Staffordshire-Bleche.

Es fehlt noch immer an entscheidenden Experimenten für die Bestimmung der genauen Beschädigung, welche Platten von verschiedener Qualität und Dicke mit Löchern von verschiedenem Durchmesser, Theilung und Entfernung von der Kante beim Lochen erleiden. Es wird allgemein angenommen, dass Platten von mittlerer Qualität, welche eine absolute Festigkeit von 33 Kilo pro Quadratmillimeter besitzen, durch das Lochen 20 bis 24 Proc. verlieren, so dass das zwischen den Nietlöchern in gewöhnlichen Kesselnähten stehende Material nicht höher als 25,2 bis 26,8 Kilo gerechnet werden kann.

Dies ist ein Maximumverlust für harte Bleche von mittlerer Kesselblechqualität; viele weiche Bleche verlieren nicht mehr als 4 bis 8 Proc., wenn die Löcher einen Durchmesser frei von der Kante entfernt bleiben, und in der zweiten Nietreihe für doppelte Nietung verlieren dieselben gar nicht. Wenn die Kante der Platte nur knapp von der Walzkante bearbeitet ist, so hat man etwas bedeutendere Schwächung zu befürchten, als wenn die Platte aus dem Vollen geschnitten ist.

Da die Gefahr des Beschädigens der Platte mit der Entfernung des Loches von der Kante abnimmt, so bestellen manche Kesselfabrikanten, welche das Lochen dem Bohren vorziehen, alle Bleche circa 12 mm breiter an jeder Seite, als die fertigen Dimensionen, um die Löcher in einer sicheren Entfernung von der Kante zu halten. Das überflüssige Material wird nach dem Lochen abgehobelt oder abgeschnitten. Eine gute Vorstellung von der Gewalt, welcher die Platte

ausgesetzt ist, erhält man, wenn man die zum Lochen nöthige Kraft berechnet. Aus Experimenten hat sich ergeben, dass der Widerstand einer schmiedeeisernen Platte gegen das Lochen dem gegen das Zerreissen, wenn auf absolute Festigkeit beansprucht, gleichkommt. Nehmen wir diese als 33 Kilo pro Quadratmillimeter an, und berechnen den Widerstand nicht als in der gelochten Fläche gemessen, sondern in der Fläche, in welcher sich das Material zu trennen hat, so erhalten wir den Umfang multiplicirt mit der Blechdicke, also $d \times \pi \times \delta \times 33$ gleich der Kraft, welche im Stande ist, in ein Blech von der Dicke δ ein Loch vom Durchmesser d zu lochen.

Für ein Loch von 20 mm Durchmesser in 12 mm Blechdicke ergiebt sich eine Kraft von 24880 Kilo. Aus dieser Betrachtung lässt sich ferner die grösste Blechdicke, welche mit einem Loche von gegebenem Durchmesser gelocht werden kann, oder auch der kleinste Lochdurchmesser für eine gegebene Blechdicke finden, wenn die rückwirkende Festigkeit des Durchschlags bekannt ist. Nehmen wir diese als 157,5 Kilo pro Quadratmillimeter an und den Maximalwiderstand für Schmiedeeisen zu 39,4, so erhalten wir für den Widerstand der Platte $d\,\pi\,\delta\,39{,}4$ und den Widerstand des Durchschlags zu $\frac{d^2\pi}{4} \cdot 157{,}5$. Es geht hieraus hervor, dass wenn $\delta = d$ ist, so sind die beiden Widerstände sich gleich.

Wir sehen also, dass wenn die rückwirkende Festigkeit des Durchschlags ungefähr viermal so gross ist, als die absolute Festigkeit des Bleches, so kann man ein Loch von dem Durchmesser gleich der Blechdicke lochen. Ist die Plattendicke grösser als der Durchmesser des Loches, so muss entweder der Durchschlag stärker, oder das Blech schwächer sein, oder das Loch kann nicht gestanzt werden. In der Praxis wird es selten versucht, ein Loch zu stanzen, dessen Durchmesser geringer ist, als die Blechdicke. Von einer guten Lochmaschine kann man verlangen, dass dieselbe ein Loch von 30 mm in eine Platte von 30 mm zu lochen im Stande ist.

Die Löcher werden in der Platte etwas grösser gemacht als der Durchmesser des Nietes, damit der Niet sich leicht einsetzen lässt, wenn er rothwarm ist. Für Niete von 20 mm giebt man 1,7 mm zu, so dass das Loch etwa zu 21,7 mm hergestellt wird. Natürlich erlaubt man für grössere Durchmesser etwas mehr, etwa $^1/_{12}$ des Nietdurchmessers. Der Durchschlag

sollte stets an der Fläche einen etwas grösseren Durchmesser haben, und letztere stellt man am besten etwas concav und nicht flach oder gar convex her, damit man einen möglichst reinen Schnitt erhält. Das Loch in der Lochscheibe ist stets etwas grösser als der Durchschlag, erstens um Reibung desselben darin zu vermeiden, und dann um die Lochbutzen leichter daraus entfernen zu können. Je geringer der Spielraum zwischen Stempel und Matrize, um so mehr wird das Blech geschädigt. Der Unterschied im Durchmesser zwischen Stempel und Matrize bewirkt auch die conische Form des Loches. Das gewöhnliche Verhältniss der Durchmesser liegt zwischen 1 : 1,1 und 1 : 1,2. Vergrössert man den Durchmesser der Lochscheibe hinlänglich, so kann man das Loch durch die ganze Blechdicke versenkt erhalten, und macht man von diesem Umstande manchmal im Schiffbau Anwendung. Die Bleche werden so zusammengelegt, dass die geringen Lochdurchmesser an einander liegen, wie in Fig. 4. Der Niet wird unter dem Kopfe mit einem schwachen conischen Ansatze versehen, damit derselbe das Loch gut füllt. Der Kopf auf der anderen Seite wird nun durch Hämmern hergestellt.

Fig. 4.

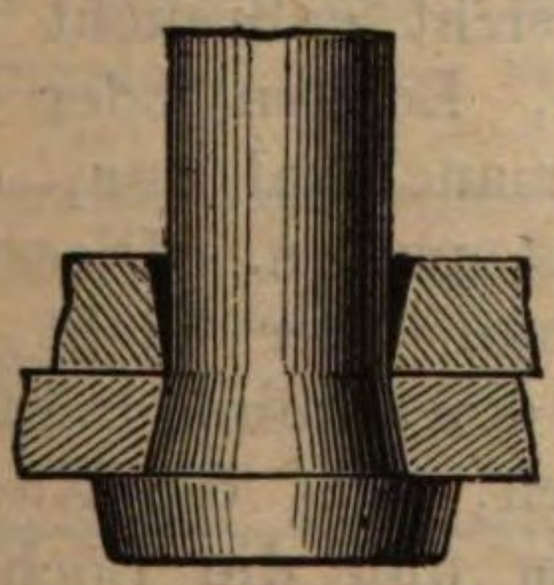
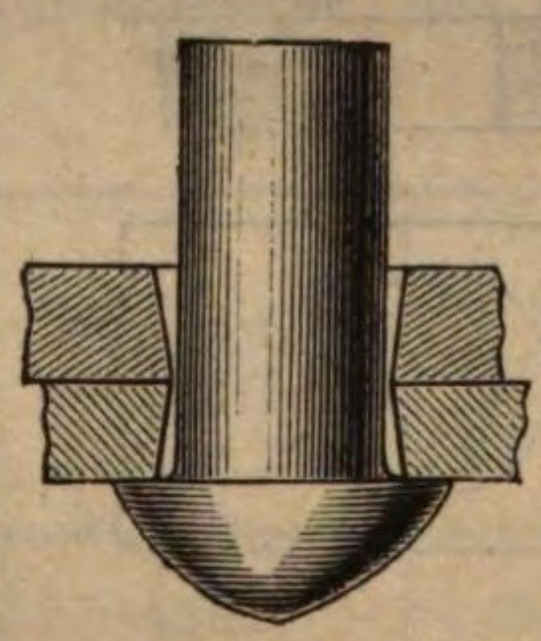


Fig. 5.



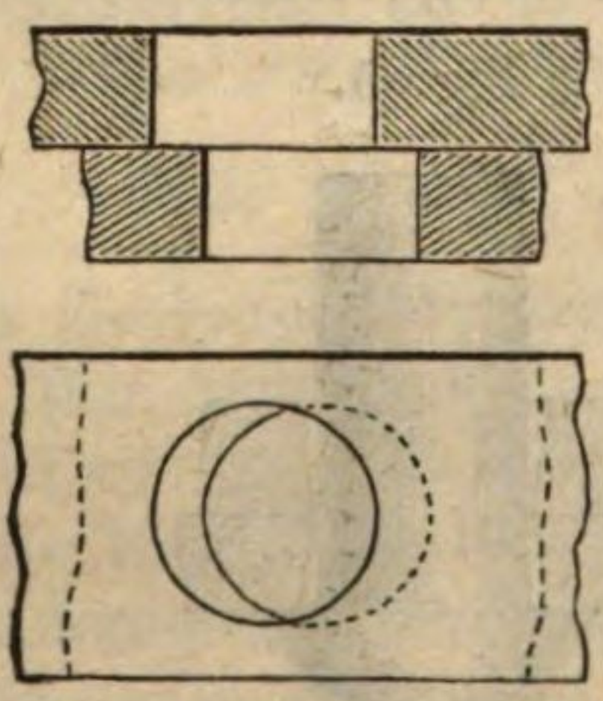
Es ist allgemein Gebrauch, dass gelochte Kesselbleche in der Weise zusammengelegt werden wie in Fig. 4 und 5, und man hat auf diese Anordnung ein Gewicht gelegt, dessen Werth wohl in den meisten Fällen überschätzt worden ist. Wo der Stahltreibdorn benutzt wird (und wo ist wohl seine Anwendung vollständig beseitigt?), werden die inneren scharfen Kanten umgeschlagen, und verhindern dadurch das feste Anliegen der beiden Platten gegen einander mehr, als wenn man die weiteren Lochseiten nach innen gebracht hätte. Auf der anderen Seite hat wieder das Vernieten in Platten mit der conischen Seite der Löcher nach innen die Wirkung,

die Platten auseinander zu treiben. Ausserdem würde, im Falle ein Nietkopf zufälliger Weise abgeschlagen werden sollte, die Versenkung beide Platten noch zusammenhalten, wenn dieselben in der erstgenannten Weise arrangirt sind. Die Spannung beim Abkühlen vertheilt sich auch in dieser Anordnung über die ganze Nietlänge, und die Köpfe haben in Folge dessen weniger zu thun.

Fasst man Alles zusammen, so hat diese Methode entschieden ihre Vortheile, welche die Vorliebe für dieselbe als berechtigt erscheinen lassen, und welche die geringen Nachtheile überwinden, die sich in der Anwendung einstellen. Im Falle von Ausbesserungen stellt sich die Schwierigkeit, einen Niet aus dem Loche zu treiben, in allen Methoden fast gleich gross, wenn das Loch gut gefüllt und die Arbeit von vornherein eine gute war.

Es ist von der grössten Bedeutung, dass die zusammengehörigen Löcher in zwei Blechen genau passen, und sich nicht theilweise überdecken, oder, wie man sagt, halb blind sind, wie in Fig. 6. In roher Arbeit wird diesem Umstande viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt, und selbst wo alle Vorsicht gebraucht wird im Vorzeichnen, Lochen oder Bohren, kommt es manchmal vor, dass die Löcher nicht passen. Dieser Fehler erschwert nun aber nicht nur die Herstellung einer dampfdichten Nietnaht dadurch, dass die Nieten verzerrt werden und die Löcher nicht völlig füllen, sondern führt auch ausserdem noch zur Benutzung des Dorns, welcher von unvorsichtigen Arbeitern oft mit solch unvernünftiger Gewalt in das Loch getrieben wird, dass eine Verletzung des Bleches die unvermeidliche Folge ist. Durch die Benutzung des Dornes, gewöhnlich ein runder an der Spitze etwas conischer Stahlbolzen, werden die Löcher verzerrt und in unregelmässige Formen getrieben, bis dieselben gross genug sind, den Niet aufzunehmen, welcher dann gewöhnlich in irgend welcher schiefen Richtung hindurch geht. Es wird nun auf die Grösse der Verzerrung ankommen, ob der rothwarme Niet das Loch zu füllen im Stande ist oder nicht, und ob die

Fig. 6.



Schiefe desselben die Festigkeit wesentlich beeinflusst. Wenn in Folge schlechter Arbeit ein Niet nicht ohne weitere Hülfe eingesetzt werden kann, so ist es am besten, eine Reibahle zu benutzen, und dann einen grösseren Niet einzunieten. Diese Methode hat den Vortheil, das Blech, welches schon häufig beim Lochen etwas beschädigt wurde, nicht weiter zu schwächen. Zuweilen wird dies durchgängig für genietete Arbeit benutzt, man stanzt oder bohrt die Löcher von vornherein etwas kleiner als den Nietdurchmesser, und reibt dieselben nachher zusammen auf. Zieht man bei dieser Arbeit die Bleche vor dem Gebrauch der Reibahle nicht dicht zusammen, so ist es leicht möglich, dass die Späne sich zwischen dieselben setzen, und dadurch die Dichtheit der Naht beeinträchtigen. Diese Methode zerstört allerdings die conische Form der gestanzten Löcher, sichert aber eine bessere Nietnaht, als das gewöhnliche unvorsichtige Nieten.

Einige Experimente zur Bestimmung des Festigkeitsverhältnisses zwischen gelochten und gebohrten Blechen sind ausgeführt worden. Herr W. H. Maynard schnitt vier Streifen von derselben Tafel, zwei wurden gelocht und zwei gebohrt. Die Löcher hatten einen Durchmesser von 25,4 mm, und der durch das Loch geschwächte Theil des Streifens einen Querschnitt von 967,7 qmm.

Experiment	Bruchbelastung in Kilo		Unterschied in Kilo	Unterschied in Proc. zu Gute des Bohrens
	Gebohrter Streifen	Gelochter Streifen		
No. 1	31055	26473	4582	17 Proc.
No. 2	32073	26473	5600	21 „
Durchschnitt .	31564	26473	5091	19 „

Da für diese Experimente die Qualität der Platte und das Aussehen der Bruchfläche nicht gegeben sind, so lässt sich aus den Resultaten keine allgemein gültige Formel ableiten.

In Folgendem sind die von derselben Autorität erhaltenen Resultate von Experimenten über die Abscheerungsfestigkeit von Nieten in gebohrten und in gestanzten Löchern zusammengestellt.

Nietendurchmesser 15,87 mm

	In gebohrten Löchern	In gestanzten Löchern
No. 1. Einfache Abscheerung . . .	40,1 kg pr. qmm	42,9 kg pr. qmm
„ Doppelte „ . . .	61,5 „ „ „	71,8 „ „ „
No. 2. Einfache „ . . .	41,6 „ „ „	41,0 „ „ „
„ Doppelte „ . . .	Expmt missglückt	Expmt missglückt

Herr Maynard hält es nach Obigem für entschieden, dass Nieten in gebohrten Löchern gegen Abscheerung 4 Proc. schwächer sind, als Nieten von gleichem Durchmesser in gestanzten Löchern unter denselben Verhältnissen, und glaubt, dass die scharfen Kanten in gebohrten Löchern mehr die Wirkung des Abschneidens äussern, als die runden Kanten im gestanzten Loche. Dieser Schluss ist seitdem durch Experimente in Amerika bestätigt worden, die Nieten erschienen mit einer reineren Schnittfläche unter dem Einflusse von gebohrten, als von gestanzten Blechen.

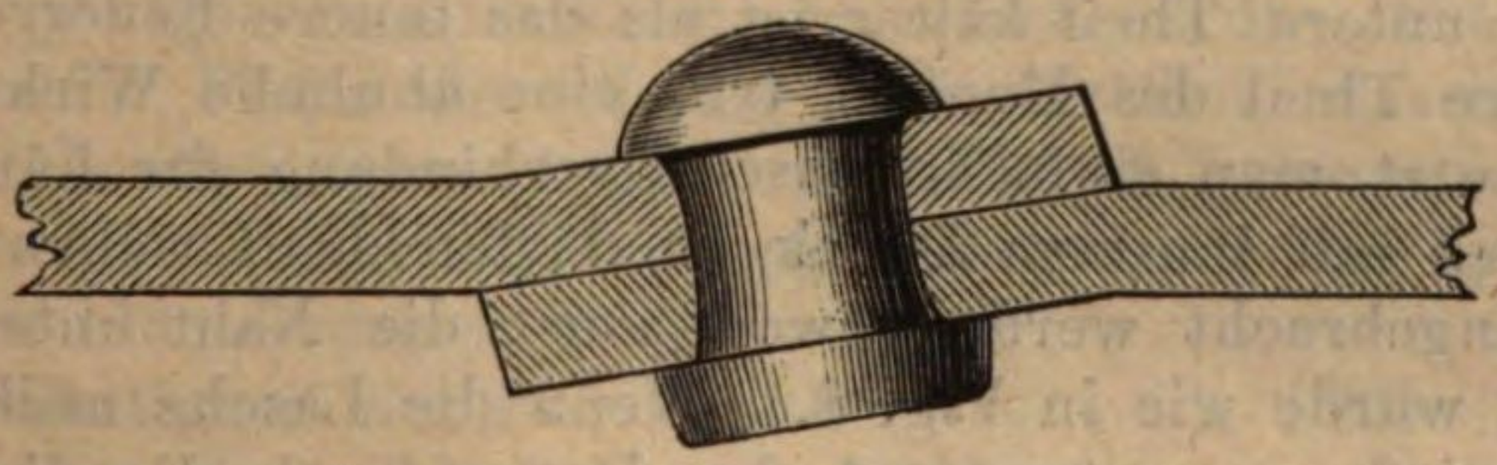
In einem Vergleich über die Vorzüge von gebohrten und gelochten Nietnähten kommt Herr Maynard zu folgendem Schluss: 1) Gebohrte Bleche sind 19 Proc. stärker als gelochte Bleche; 2) die Nieten in gebohrten Blechen sind 4 Proc. schwächer als in gelochten, folglich haben die gebohrten Bleche vor den gelochten einen Vorzug um 15 Proc. Diese Folgerung würde jedoch für verschiedene Qualitäten von Blech, Nieten und Arbeit zu modificiren sein.

Sir W. Fairbairn giebt in seinem Werke *) einen sehr ausführlichen Bericht über einige Experimente mit einfachen und doppelten Ueberblattungs- und Laschenvernietungen, sowohl mit versenkten als Kopfnieten in gestanzten Löchern. Die Experimente wurden ausgeführt mit Hand- und Maschinennietung, und wie zu erwarten war, zeigte sich letztere von grösserer Festigkeit. Die Nähte mit versenkten Nieten zeigten ungefähr dieselbe Festigkeit als die übrigen, jedenfalls müssen

*) Useful Information for Engineers.

dieselben aber um soviel schwächer gewesen sein, als durch die Versenkung an Material Verminderung verursacht ist. Die doppelt vernietete Ueberblattung war nur um ein sehr Geringes schwächer als die, dem zwischen den Nieten stehenden Material entsprechende Festigkeit; ein Beweis, dass die Bleche durch das Lochen nur sehr wenig gelitten hatten. Die einfach genietete Ueberblattung zeigte eine Verminderung in der Stärke von 24 Proc. über den Verlust, der durch Verminderung des Materials in der Nietreihe begründet ist. In diesem Falle mag das Lochen einen mehr schädigenden Einfluss auf die Bleche gehabt haben, weil die Lochlinie der äusseren Blechkante näher als die Linie lag, welche in einer doppelten Vernietung die am meisten in Anspruch genommene ist. Trotzdem ist jedoch die geringe Stärke dieser Vernietung hauptsächlich der Art und Weise zuzuschreiben, in welcher die Zugkraft die Naht in Anspruch nimmt, und versucht, dieselbe in der Richtung des Zuges zu zerstören wie in Fig. 7. Die einfache

Fig. 7.

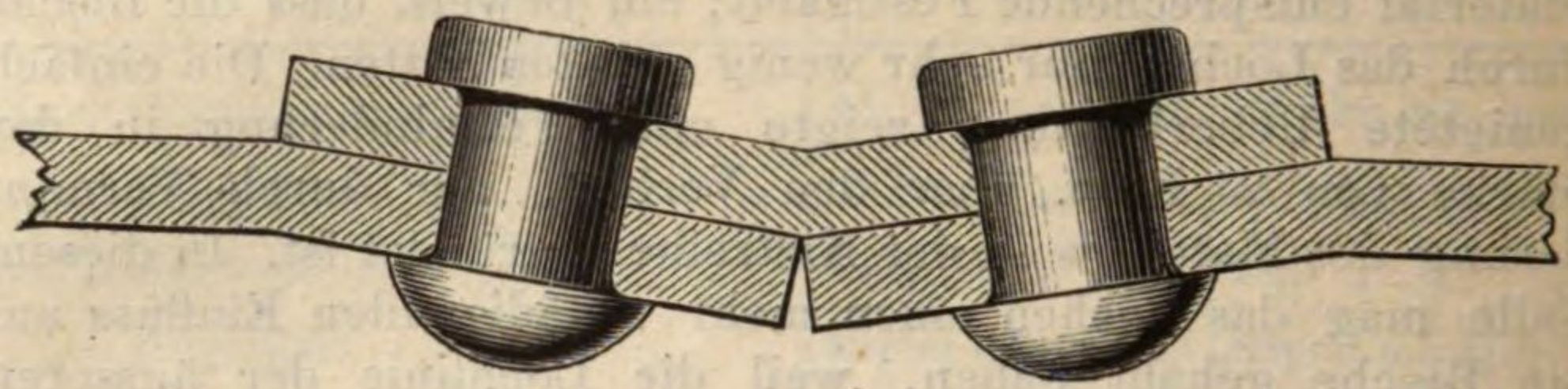


Vernietung wird unter starkem Zuge stets diese Form annehmen, weil der Zug das Bestreben hat, in der Mittellinie der Bleche zu wirken. In diesem Falle befindet sich die Nietnaht natürlich in einer unvortheilhaften Lage, weil die Spannung in den Fasern ungleichmässig vertheilt ist. Die an der inneren Seite der Naht in der Mitte des Nietes haben mehr auszuhalten als die übrigen; je dicker das Blech, um so grösser wird die ungleiche Vertheilung der Spannung sein, weil die Hebellänge mit der Plattendicke proportional zunimmt. Derselbe Fall tritt zwar in einer doppelt vernieteten Ueberblattung ein, jedoch in einem weit geringerem Maasse, weil die Kräfte hier unter kleinerem Winkel wirksam sind, und sich deshalb gleichmässiger über die Metallfasern vertheilen.

Die Laschenvernietung mit einfacher Lasche zeigt ein ähnliches Bestreben, und kann als zwei neben einander gelegte einfache Ueberlappungen angesehen werden (s. Fig. 8 a. f. S.).

In den Längsnähten von gewöhnlichen cylindrischen Dampfkesseln macht sich diese Eigenschaft der einfachen Laschennietung oft fühlbar, und führt zu Furchen in der Lasche.

Fig. 8.



In den Quernähten wird eine derartige Formveränderung durch den inneren Dampfdruck und die gekrümmte Form fast unmöglich, jedoch selbst hier machen sich die Molecularkräfte, deren Wirkung in der Ausdehnung und Verkürzung der Platten sichtbar wird, fühlbar und verursachen die Querfurchen in Locomotivkesseln, wenn dieselben an beiden Enden fest mit dem Rahmen verbunden sind. In stationären Kesseln, wo der untere Theil kälter ist als das innere Feuerrohr und der obere Theil des Mantels, tritt eine ähnliche Wirkung ein.

Benutzt man einfache Laschenverbindung für Längsnähte in Röhren mit innerem Druck, so dürfen die Laschen niemals innen angebracht werden, weil sonst die Naht unter Druck geöffnet würde wie in Fig. 8. Wenn die Lasche nach aussen gelegt wird, so unterstützt der Dampfdruck dieselbe in der Verhinderung einer Formveränderung der Naht.

Der durch die ungleiche Vertheilung der Spannung in einfach genieteten Nähten verursachte Verlust beträgt für die meist verwendeten Blechstärken von 8 bis 11 mm nicht weniger als 20 Proc. der absoluten Festigkeit des zwischen den Nieten stehenden Materials. Diese Zahl würde nach den Versuchen von Fairbairn in einfach genieteten Ueberblattungen noch um 4 Proc. für Schädigung durch das Lochen, und für die das Loch nicht völlig füllenden Nieten zu erhöhen sein, weil die Nieten nicht überall gleich dicht am Bleche anliegen, und also den Zug nicht gleichmässig in allen Theilen aufnehmen können. Wie hoch der Verlust an Festigkeit durch ungleiche Vertheilung der Spannung in Streifen sehr dicker Bleche von 22 mm und darüber sein mag, lässt sich nur durch directe Versuche feststellen; derselbe mag 50 bis 70 Proc. betragen. Dass die Schwäche von einfach genieteten Ueberlappungen

durch die schräge Richtung der Zugkraft, und folgliche ungleiche Vertheilung der Spannung begründet ist, wurde durch die Versuche von Fairbairn bewiesen, in welchen sowohl einfach genietete als auch Laschenvernietungen mit zwei Laschen, sogenannte Kettenvernietung, untersucht wurden. Die Stärke dieser letzteren stellte sich ebenso hoch, als die einer doppelt genieteten Ueberblattung, oder beinahe ebenso hoch wie die absolute Festigkeit des zwischen den Nietlöchern stehenden Materials.

Nach einigen Experimenten von Brunel mit doppelter Laschenvernietung an 12,5 mm besten Staffordshire-Blechen und 9,5 mm dicken Laschen auf beiden Seiten, sowohl mit doppelter als dreifacher Ketten- und Zickzack-Vernietung kam derselbe zu folgenden Resultaten: Der Querschnitt der Nieten und Platten soll derselbe sein; dreifache Vernietung ist der doppelten Kettenvernietung vorzuziehen im Verhältniss zum übrigbleibenden Blechquerschnitt nach Abzug der Löcher; die Stärke des Bleches ist unvermindert durch das Lochen. 31,5 Kilo pro Quadratmillimeter ergab sich als Bruchbelastung für die volle Platte sowohl als auch für den zwischen den Nieten stehenden Querschnitt. In „Useful Informations for Engineers“ ist die Festigkeit von Nietnähten im Vergleich mit der soliden Platte wie folgt gegeben:

Festigkeit der Blechplatte	100
Festigkeit der doppelten Nietung . . .	98
Festigkeit der einfachen Nietung . . .	76

Der Verlust an Festigkeit wie oben gegeben ist durch die Behandlung des Materials und die Art der Vernietung begründet und gänzlich unabhängig von dem verminderten Querschnitte in der Nietreihe. Eine weitere Reduction muss in Folge dessen für den durch die Nietlöcher verminderten Querschnitt gemacht werden. Diese Zahl variirt sehr bedeutend für einfache Vernietung, für doppelte kann man jedoch im Durchschnitt 30 Proc. annehmen. Fairbairn erlaubt auch für einfache Vernietung 30 Proc. und giebt demnach die obigen Zahlen nach Abzug der 30 Proc. als 100, 68, 46. 30 Proc. ist jedoch für einfache Vernietung zu wenig, und ist weder mit der gewöhnlichen praktischen Ausführung, noch mit den in Fairbairn's Werke aufgeführten Tabellen im Einklang. In diesen Tabellen findet sich z. B. für Nieten von 19 mm und Bleche von 9,5 mm eine Theilung von 44,4 mm,

welche einem Verluste von 43 Proc. entspricht. Für einen Verlust von nur 30 Proc. würde sich die Theilung auf 63,5 mm stellen, jedoch würde man diese Theilung heute nur noch in den seltensten Fällen für Niederdruckkessel angewendet finden. Viele Kesselfabrikanten machen von dem durch doppelte Vernietung gebotenen Vortheil, einen grösseren Blechquerschnitt zu behalten, keine Anwendung, sondern setzen die Nieten in doppelter Vernietung in die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks, dessen Seitenlänge gleich der Theilung für einfache Vernietung ist, und entfernen dadurch vielleicht bis zu 40 Proc. des Querschnittes statt 30 Proc. Nehmen wir den durchschnittlichen Verlust an Material in einfacher gewöhnlicher Kesselvernietung zu 40 Proc. und den Gesammtfestigkeitsverlust in der Nietnaht nur zu 54 Proc. an, wie sich derselbe aus obigen Zahlen ergiebt, so bleiben nur 14 Proc. für den der Platte beim Lochen zugefügten Schaden, und für die ungünstige Form der Vernietung. Dies ist entschieden zu wenig, und sollte nie geringer als zu 20 Proc. veranschlagt werden, selbst wenn wir annehmen dürfen, dass das Blech beim Lochen, Nieten u. s. w. nicht geschwächt würde. Für die meisten Fälle wird jedoch 24 Proc. der Wahrheit näher kommen und die Fairbairn'schen Zahlen stellen sich sodann auf 100 68 und 36 anstatt auf 100, 68 und 46.

Diese Zahlen würden nun die richtigen verhältnissmässigen Festigkeiten ergeben, wenn die Platten und Nietnähte in schmale Streifen zerschnitten würden, wie in den Versuchen. In einem Kessel sind jedoch die Verhältnisse wesentlich andere, und die Widerstände gestalten sich ebenfalls anders. Angenommen, ein Kesselmantel würde aus kreisförmigen Ringen hergestellt, welche an ihren Kanten die nächstanliegenden überlappen, jedoch keine Längsnähte oder sonstige Verschwächungen besitzen, so würde derselbe im Stande sein, selbst einem grösseren Drucke zu widerstehen, als nach der normalen Festigkeit des Materials sich ergeben würde, und zwar in Folge der Verstärkung, welche der Mantel durch die doppelten ringförmigen Nähte erhält. Dass in einem gut gebauten cylindrischen Kesselmantel der Widerstand durch die Ringnähte wesentlich vermehrt wird, ist zur Genüge durch den Umstand bewiesen, dass in vielen Kesseln eine der Tafeln fast gänzlich ausgeschnitten ist, um vielleicht einen Dampfdom von 1 m Durchmesser aufzunehmen; in diesem Falle

bleibt oft nur gerade Material genug, um das Winkeleisen des Domes zwischen die beiden Ringnähte befestigen zu können. In derartigen und anderen ähnlichen Fällen beruht die Stabilität des Ganzen lediglich auf der durch die Ringnähte bedingten Festigkeit. Wenn die Längsnähte richtig angeordnet, also die Naht versetzt ist, so verhindern die Ringnähte auch wesentlich das Verzerren der Längsnähte, wie dasselbe in Fig. 7 und 8 gezeigt wurde. Natürlich hängt diese Unterstützung wesentlich von der Breite der Platten resp. Ringe ab, und ist um so grösser, je schmaler dieselben sind.

Ausserdem hat noch der Umstand, die Längsnähte so anzuordnen, indem man dieselben versetzt, ähnlich wie die Fugen im Mauerverband, einen wesentlichen Einfluss auf die Verstärkung des Mantels. Es ist deshalb mehr als wahrscheinlich, dass in einem Kesselmantel, in welchem die Längsnietreihen in richtiger Weise versetzt und doppelt genietet sind, die Widerstandsfähigkeit noch grösser ist, als die durch den Querschnitt zwischen den Nieten bedingte. Da dieser Theil jedoch immerhin der schwächste sein wird, so mag dessen Festigkeit als die des Kessels angenommen werden, und kann man für doppelt genietete Längsnähte sich mit einem Gesammtabzug von 30 Proc. von der Festigkeit des Bleches begnügen.

In einem ähnlichen einfach genieteten Kessel können wir ebenfalls die durch Verzerrung der Nietnaht bedingte Schwächung vernachlässigen, und dürfen deshalb rechnen, dass diese Vernietung im Kessel 20 Proc. stärker ist als in einem Versuchsstreifen, und wir würden demnach für einfache Vernietung nur einen Gesammtabzug von 44 Proc. zu machen haben, so dass sich die Zahlen endlich wie folgt ergeben:

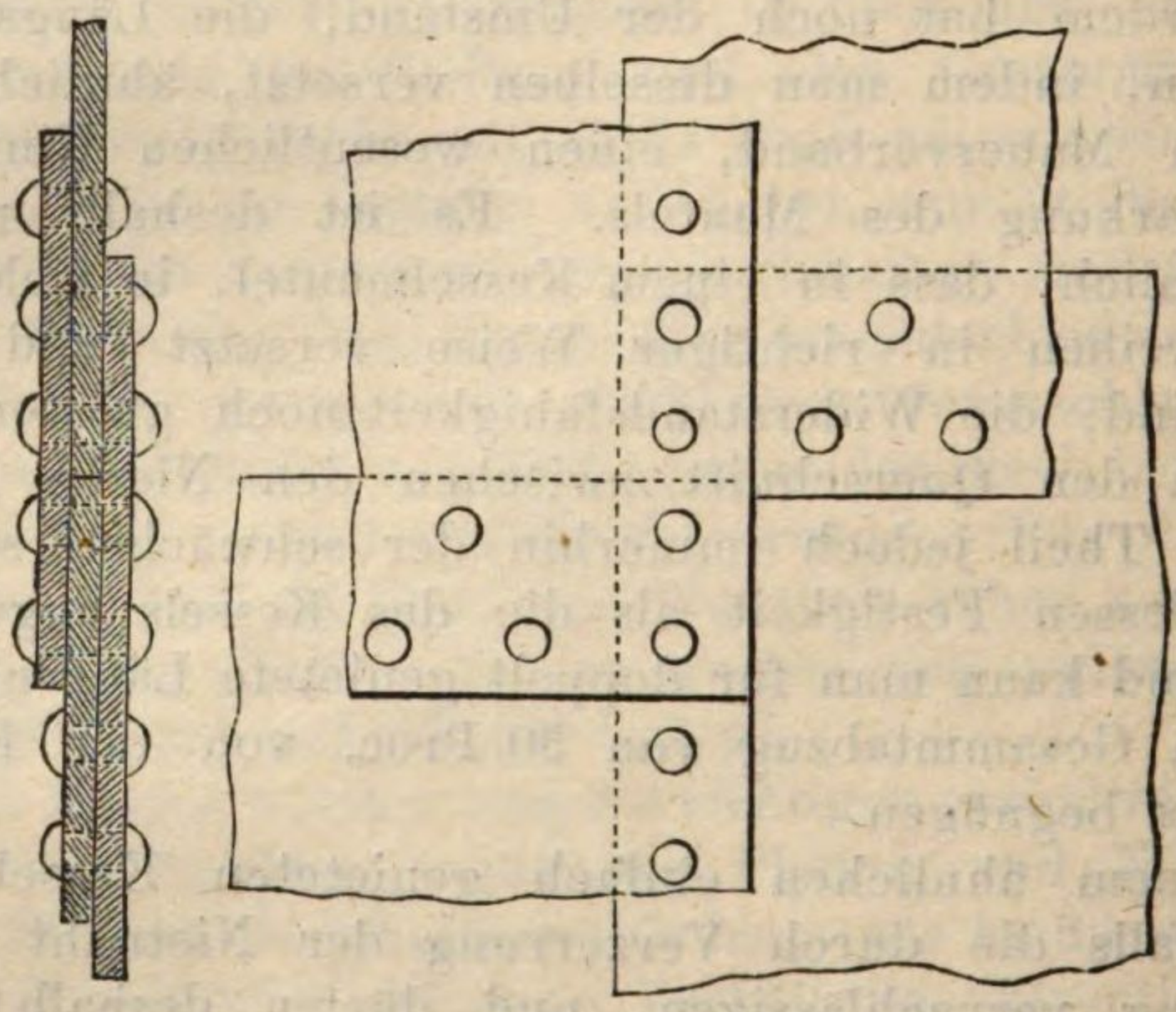
Festigkeit der Blechplatte	100
Festigkeit der doppelten Nietung . . .	70
Festigkeit der einfachen Nietung . . .	56

Diese Festigkeitsverhältnisse sind die gewöhnlich angewandten, und wurden ursprünglich von Sir W. Fairbairn aus seinen Experimenten abgeleitet. In Kesselmänteln, in welchen die Längsnähte in einer geraden Linie liegen von einem Ende des Kessels zum anderen, können wir nur wenig auf die Verstärkung der Ringnähte rechnen. Trotzdem ist eine solche Vernietung wahrscheinlich etwas stärker als im

Versuchsstreifen, durch die Steifigkeit der langen Nietreihe bedingt, und selbst ein solcher Kesselmantel mit einfacher Vernietung besitzt etwa 40 Proc. der Festigkeit der Blechplatte.

Nehmen wir wieder 33,13 Kilo pro Quadratmillimeter als Durchschnittsfestigkeit für Bleche in der Richtung der Faser, so erhalten wir 23,19 Kilo und 18,55 Kilo als die Bruchfestigkeiten für doppelt und einfach vernietete Kessel, in welchen die Längsnietreihen im vernünftigen Sinne des Wortes, und nicht nur um ein oder zwei Niete versetzt sind, wie in Fig 9. Die Tabelle über die Festigkeit von schmiedeeisernen

Fig. 9.



cylindrischen Rohren, Cap. XVII, ist nach obigen Verhältnisszahlen berechnet. Die Festigkeit der Bleche, wenn senkrecht zur Richtung der Fasern belastet, sollte 10 bis 15 Proc. geringer angenommen werden, wie diese Zahlen. Wenn der verlangte Sicherheitscoefficient nur gering sein soll, und man Bleche von einer nachweislichen Festigkeit von 39,45 Kilo benutzt, so kann die Stärke des Kessels leicht dadurch gefunden werden, dass man 20 Proc. zu den Zahlen der Tabelle addirt.

In einigen Experimenten, welche im Jahre 1855 in Woolwich mit verschiedenen Vernietungen angestellt wurden, ergaben sich die folgenden Resultate: Die Bruchbelastungen für Bleche von 12,7 mm, 11,1 mm und 9,5 mm ergaben sich zu 16291 Kilo, 17309 Kilo und 18327 Kilo für einfache Ueberblattungsnietung, und für doppelte Vernietung zu 24436 Kilo,

24436 Kilo und 22400 Kilo wirkliche Bruchbelastung, woraus sich ergiebt, dass für die einfache Vernietung das dünnste Blech in der Nietnaht die grösste Festigkeit besass. Dieser Umstand der geringeren Stärke in den 12,7 und 10,1 mm starken Blechen kann nur durch die schräge Richtung der Zugkraft bei verzerrter Nietnaht erklärt werden (s. S. 87). Aus Mangel an detaillirter Beschreibung dieser Versuche können dieselben nicht zur Ableitung allgemein gültiger Regeln und Formeln für Bleche von verschiedenen Dicken benutzt werden. Viele haben auf diese Experimente gestützt irrthümlich geschlossen, dass für Kessel ein 9,5 mm dickes Blech ebenso stark sei, wie ein 12,7 mm starkes. Erstlich aber würde sich sehr bald in einem aus 12,7 mm starkem Blech hergestellten Kessel ein bedeutender Unterschied in der Festigkeit herausstellen, verglichen mit der eines Versuchsstreifens, aus Gründen, die bereits oben erklärt wurden, während der Unterschied für eine dünnere Blechplatte von nur 9,5 mm nicht so bedeutend sein würde. Zweitens aber ist es durchaus nicht wahrscheinlich, dass in einem Kessel der Bruch zuerst in der Nietreihe stattfinden würde. Vergleicht man ferner zwei Kessel aus Blech von 12,7 und 9,5 mm Blechdicke, und nimmt man an, dass diese Kessel bei einer Verminderung der Blechdicke bis auf 6,35 mm untauglich würden, so werden die stärkeren Bleche zweimal so lange im Gebrauch gewesen sein.

In der Bestimmung des richtigen Nietdurchmessers, der Theilung und der Ueberblattung für Bleche von verschiedener Dicke sind mehrere besondere Umstände zu berücksichtigen. Erstlich mit dem nöthigen Bestreben nach der Ersparniss an Material hat man den Durchmesser und die Theilung der Nieten so zu wählen, dass die Nieten und das Blech gleiche Festigkeit besitzen, denn wenn wir die Dimensionen so wählten, dass die Nieten eher nachgeben als das Blech, so würden wir die Quantität des Materials, welche die vermehrte Festigkeit des Bleches bewirkte, verschwenden, oder aber die Nietnaht schwächen. Auf der anderen Seite, die Nieten zu stark zu machen, würde heissen, die Nietnaht durch zu grosse Nietlöcher schwächen und das Material für die Nieten verschwenden. Zweitens muss noch berücksichtigt werden, dass von einem Kessel ausser Festigkeit auch eine dampfdichte Naht verlangt wird. Es wird hieraus schon klar sein, dass die Erlangung der grössten Festigkeit mit

Aufwendung des geringsten Materials schon durch die Dichtheit beeinträchtigt wird, und ausserdem kommen noch andere kleine jedoch wesentliche Umstände zur Sprache.

Zuerst ist es nöthig, dass wir uns klar werden, wie sich die Schwäche einer Nietnaht zeigen kann, und wir finden, dass dies auf fünf verschiedene Arten geschehen kann:

1. Dadurch, dass das Blech vor dem Niet zerdrückt wird, s. Fig. 10.

2. Dadurch, dass der Niet abgescheert wird.

3. Durch Reissen des Bleches in der Nietreihe zwischen den Löchern.

4. Durch Reissen oder Brechen des Bleches vor dem Niet, s. Fig. 11.

5. Durch Herausscheeren des Bleches vor dem Niet, s. Fig. 12.

Fig. 10.

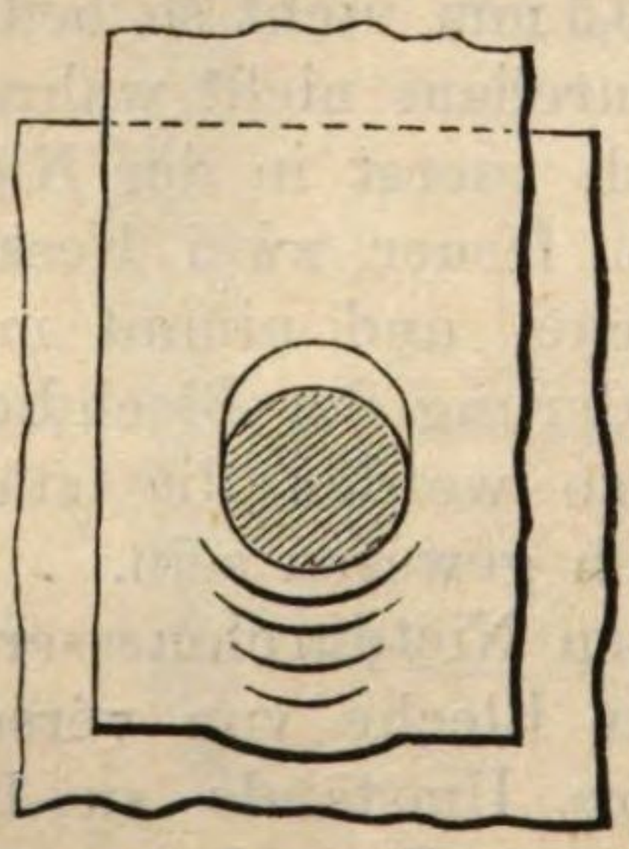


Fig. 11.

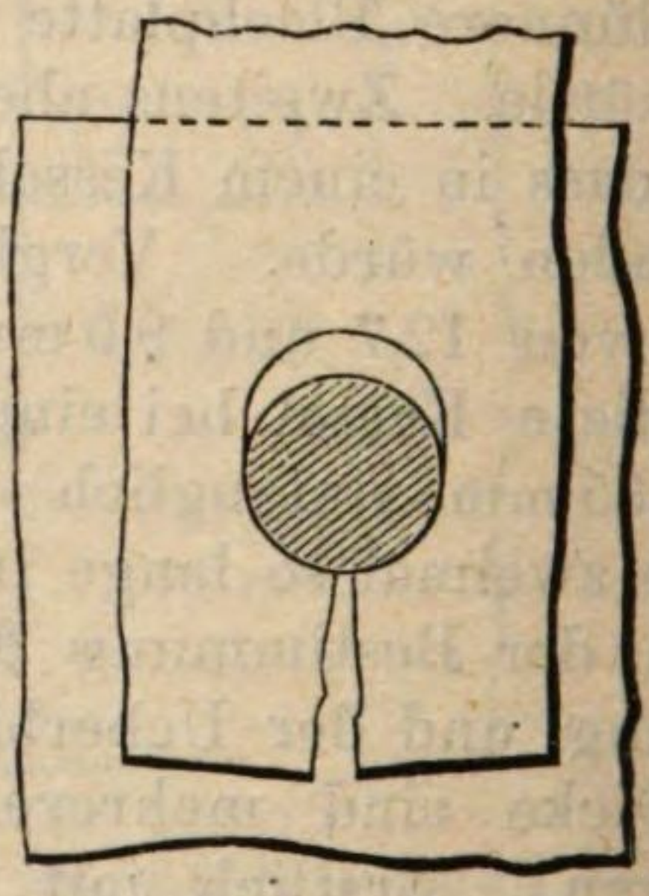
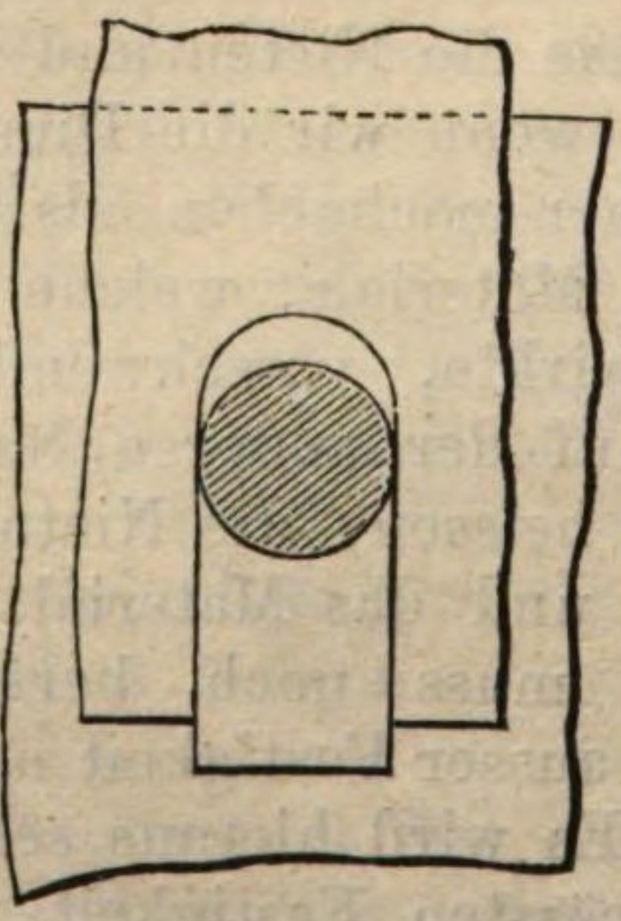


Fig. 12.



1. Der Widerstand des Bleches in dem Halbkreise vor dem Niet kann nachweislich dadurch gemessen werden, dass man den Nietdurchmesser mit der Blechdicke und der Festigkeit gegen das Zerdrücken einer Flächeneinheit multiplicirt. Aus den Resultaten einiger Experimente, angestellt von Sir C. Fox, über die Festigkeit gegen das Zerdrücken des Materials an der Anlagefläche eines eisernen Gliedes gegen einen Bolzen,

kann angenommen werden, dass dieser Widerstand 63 Kilo pro Quadratmillimeter beträgt. Wir hätten demnach, wenn d Nietdurchmesser und δ Blechdicke, den Widerstand des Bleches gegen das Zerdrücken:

$$d \,.\, \delta \,.\, 63 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

2. Der Widerstand eines Nietes gegen Abscheerung ist bereits besprochen worden, und mag als 33,13 Kilo pro Quadratmillimeter angenommen werden.

Widerstand gegen einfache Abscheerung:

$$\frac{d^2\,\pi}{4} \,.\, 33{,}13 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Vergleichen wir nun Nr. 1 und Nr. 2 unter der Voraussetzung, dass Blech und Niet dieselbe Festigkeit besitzen, so muss $d \,.\, \delta \,.\, 63 = 0{,}7854\, d^2 \,.\, 33{,}13$ und $d = 2{,}4\,\delta$ sein.

Demnach sollte der Durchmesser des Nietes nahezu $2^1/_2$ mal die Blechdicke betragen. Die gewöhnliche Regel, dass man den Nieten die doppelte Blechdicke zum Durchmesser giebt bis zu 11 mm Blechdicke, ist annähernd richtig, und erlaubt ein Geringes für etwaigen Schaden, den das Blech beim Lochen und Auftreiben erlitten haben mag.

3. Die Festigkeit des Materials zwischen den Nietlöchern in der Richtung der Nietreihe kann im Durchschnitt, wie aus Versuchen nachgewiesen wurde, zu 33,13 Kilo angenommen werden. Nennt man τ die Theilung, so erhalten wir:

Widerstand des Bleches gegen Zerreissen in der Nietnaht:

$$\delta\,(\tau - d)\,33{,}13 \,.\, \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Vergleichen wir diese Formel mit Nr. 2, so erhalten wir für gleiche Festigkeit der Nieten und der Platte zwischen denselben:

$$0{,}7854\,\delta^2 \,.\, 33{,}13 = \delta\,(\tau - d)\,33{,}13.$$

Aus dieser Formel lässt sich leicht die günstigste Theilung für einen gegebenen Nietdurchmesser für bestimmte Blechdicken finden. Nennt man in dieser Formel q den Querschnitt des Nietes, so erhält man für die Theilung für einfach vernietete Ueberblattungs- und Laschenvernietung:

$$\tau = \frac{q}{\delta} + d \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Für doppelt genietete Ueberblattungs- und einfache Laschenvernietung, wo wir zwei Nietenquerschnitte in Rechnung zu ziehen haben, ist:

$$2q = \delta(\tau - d) \quad \text{und Theilung} \quad \tau = \frac{2q}{\delta} + d \ldots\ldots (5)$$

In einer doppelten Laschenverbindung mit einfacher Nietung kommen ebenfalls zwei Nietenquerschnitte auf Abscheerung in Betracht, und die Theilung ist in Folge dessen dieselbe wie vorher:

$$\tau = \frac{2q}{\delta} + d \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Für doppelte Laschenverbindung, doppelt vernietet, haben wir vier Nietenquerschnitte in Rechnung zu ziehen, und die Formeln stellen sich:

$$4q = \delta(\tau - d) \quad \text{und} \quad \tau = \frac{4q}{\delta} + d \ldots\ldots\ldots (6)$$

In obigen Formeln ist es richtiger, für d nicht den Durchmesser des Nietes, sondern des etwa 1,5 mm grösseren Nietloches zu benutzen.

Wenn der Nietdurchmesser doppelt so gross, als die Blechdicke gewählt wird, so sind die Theilungen für die Formeln 4, 5 und 6: $2{,}57\,d$, $4{,}14\,d$ und $7{,}28\,d$.

Für dicke Bleche, in welchen man den Nietdurchmesser geringer wählt im Verhältniss zur Blechdicke, wird die Theilung geringer sein. Nennt man r das Verhältniss zwischen Durchmesser und Blechdicke, so hat man obige Verhältnisszahlen mit $\frac{r}{2}$ zu multipliciren, um die Theilung zu finden.

4. Wir können die Entfernung zwischen dem Nietloche und der Blechkante als die Höhe h eines Trägers auffassen, welcher an beiden Enden befestigt und gleichmässig belastet ist, die Spannweite des Trägers ist gleich dem Nietdurchmesser, und die Bruchfestigkeit desselben lässt sich ausdrücken:

$$\frac{\delta h^2}{d} \cdot C.$$

C ist ein Coefficient, dessen wahrer Werth noch nicht bestimmt ist.

Da die Art und Weise der Belastung sowohl als die Widerstandsverhältnisse von denen eines gewöhnlichen Trägers

wesentlich verschieden sind, so wird es einleuchtend sein, dass wir den gewöhnlichen Coefficienten nicht einmal als annähernd richtig betrachten können. Da derselbe jedoch in Wirklichkeit nicht geringer sein wird, als der für gewöhnliche Träger, so können wir ihn des Vergleiches halber einführen.

$$\frac{Pd}{12} = \frac{\delta h^2}{6} k,$$

setzen wir $k = 37$, so ist:

$$P = \frac{\delta h^2 \,.\, 74}{d}.$$

Vergleichen wir diese Formel mit Nr. 2, so erhalten wir:

$$0{,}7854\, d^2 \,.\, 33{,}13 = \frac{\delta h^2}{d} \,.\, 74.$$

und setzen wir in diesen Formeln $\delta = \frac{d}{2}$, so erhalten wir:

$$h = d \,.\, 0{,}83.$$

Nehmen wir diesen Werth als annähernd an, so würde daraus folgen, dass die gewöhnliche Praxis, vor dem Nietloche einen vollen Durchmesser stehen zu lassen, ausreichende Sicherheit gegen ein Reissen in dieser Richtung geben würde. Je grösser nun das Verhältniss zwischen Nietdurchmesser und Blechdicke, um so geringer darf die Ueberblattung gemacht werden, wenn man dasselbe Festigkeitsverhältniss beibehalten will.

5. Der Widerstand der Blechplatte gegen ein Herausschieben vor dem Niet wird sich durch das Product aus dem abgescheerten Querschnitte und der Abscheerungsfestigkeit des Bleches ausdrücken lassen, und ist demnach:

$$2\left(\frac{3d}{2}\right)\delta \,.\, 33{,}13,$$

wenn die Entfernung zwischen Blechkante und Mittellinie der Nietlöcher $^3/_2\, d$ beträgt. Vergleicht man die Festigkeit des Bleches in dieser Richtung, so wird man sehr bald finden, dass dieselbe bedeutend grösser ist, als in einem der anderen betrachteten Fälle, und man wird deshalb einen Bruch, wie den in Fig. 12 dargestellten, selten oder nie antreffen.

Der Bruch, den man in Kesselblechen am häufigsten antrifft, ist vom Niet nach der Blechkante. In den meisten Fällen ist dies das Resultat unvorsichtiger Behandlung der vielleicht spröden Bleche, jedoch werden dieselben auch durch

die wiederholte Contraction über dem Feuer liegender Nähte verursacht. Eine breite Ueberblattung sowohl, als auch dicke Blechplatten verursachen unter diesen Verhältnissen am häufigsten Mühe, wenn es sich um schnelle Temperaturänderungen handelt. In einer Nietreihe können einige Löcher ausreissen oder einige Niete, durch eine ungleich vertheilte Spannung herbeigeführt durch unvorsichtige Arbeit beim Vernieten, beschädigt werden. Wenn das Blech erst einmal an einer Stelle entweder durch Riss oder Bruch zerstört ist, so ist selbstverständlich die Spannung nachher nicht mehr gleichmässig auf alle Niete in einer Nietreihe vertheilt, sondern wird auf die dem Bruch zunächst liegenden Fasern concentrirt sein. Dass unter diesen Verhältnissen die Platte von einem weit geringeren Druck zerstört werden kann als der, welcher der absoluten Festigkeit entsprechen würde, ist selbstverständlich.

Die Principien, welche in obigen Formeln niedergelegt sind, obwohl richtig aus Versuchen gefolgert, müssen immerhin mit Vorsicht aufgenommen werden. In den meisten Experimenten waren die Bleche dünn, aus sehr gutem Eisen gewalzt, und hatten wahrscheinlich nicht durch rohe Behandlung beim Lochen oder Nieten gelitten, was sich leider nicht von allen gewöhnlichen Kesselblechen behaupten lässt. Mancher neue Kessel wird in Betrieb gesetzt, in welchem die Löcher bis an die Blechkante gerissen, oder die Theile zwischen den Löchern vom Lochen und der Benutzung des Dornes beschädigt sind. Es ist überdies Gebrauch der meisten Kesselfabrikanten, eine bessere Qualität Eisen für die Niete zu benutzen, als für die Bleche; hierdurch vermindert sich die Möglichkeit einer Beschädigung durch Erhitzen und Hämmern, und die Abscheerungs- wie absolute Festigkeit der Nietnaht ist eine grössere.

Es mag als Regel angenommen werden, dass in allen neuen Kesseln, mit Ausnahme der allerbest ausgeführten, der Nietquerschnitt stärker ist als der Querschnitt der Blechplatte. In alten Kesseln findet man die Platten in der Nietnaht meist weit spröder als die Nieten, und letztere bleiben, mit Ausnahme des Kopfes, auch vom Roste weit mehr verschont als die Bleche, die oft gänzlich zerstört sind. Diese Betrachtungen deuten darauf hin, dass eine weitere Theilung, als die durch die Formeln gegebene, benutzt werden sollte. Es muss ferner hier nicht vergessen werden, dass das Loch

gewöhnlich grösser ist als der Niet, dass aber in den meisten Fällen bei Bestimmung der Theilung der Nietendurchmesser in Rechnung gezogen wird. Ferner wollen wir hier noch darauf aufmerksam machen, dass beim Vergrössern des Durchmessers des Nietes die Theilung in einem grösseren Verhältniss erweitert werden sollte, damit man die Festigkeit des Nietes und der Platte gleich behält, weil die Abscheerungsfestigkeit des Nietes mit dem Quadrat des Durchmessers wächst, während der Querschnitt des entfernten Bleches nur einfach mit dem Durchmesser vergrössert wird. Es folgt hieraus, dass, je grösser wir den Durchmesser der Nieten wählen, wir um so besser im Stande sind, den grössten Blechquerschnitt zu behalten.

Der Vortheil, der sich durch Vergrösserung des Nietdurchmessers erzielen lässt, ist dadurch begrenzt, dass wir gleichzeitig nur die Festigkeit des vor dem Niete befindlichen Bleches im einfachen Verhältniss des Durchmessers vermehren. Es ist schon früher gezeigt worden, dass das Blech vor dem Niet zusammengedrückt werden würde, wenn der Nietdurchmesser $2^1/_2$ mal die Blechdicke betrüge. Es soll hier auch nicht unerwähnt bleiben, dass durch Erweiterung der Theilung die Bruchbelastung des Bleches zwischen den Nietlöchern sehr schnell abnimmt. Die vergrösserte Breite erlaubt ein bedeutendes Strecken des Materials, wodurch die Hauptspannung auf die dem Loche am nächsten liegenden Fasern geworfen wird. Dieser Umstand kommt hauptsächlich bei Stossfugen mit beiderseitigen Laschen in Betracht, weil hier die Theilung sehr gross gewählt werden muss, um der doppelten Abscheerung der Nieten das Gleichgewicht zu halten. Hierauf mag auch die geringere Festigkeit solcher Experimentalvernietungen beruhen, bei denen sehr grosse Nieten gewählt wurden, um die zerdrückende Wirkung derselben auf das davor liegende Blech zu untersuchen. Solche Versuche können natürlich nicht als maassgebend für gewöhnliche Kesselvernietungen gelten.

Es giebt jedoch ausser der Ersparniss an Material noch andere Betrachtungen, welche bei der Bestimmung der Theilung der Nieten in Rücksicht gezogen werden müssen. Eine dichte Nietnaht ist von der ersten Bedeutung, denn sobald ein Rinnen oder Lecken eintritt, kann durch Verrosten sehr bald eine wesentliche Veränderung in der am genauesten und vorsichtigsten berechneten Vernietung eintreten. Es mag

sogar in den meisten Fällen behauptet werden, dass die Sicherheit und Dauerhaftigkeit eines Kessels mehr von der Dichtheit als von der absoluten Festigkeit der Vernietungen abhängig ist, weil in letzteren stets ein hinlänglicher Sicherheitscoefficient gewählt wird. Es ist unmöglich, eine Reihe von Formeln aufzustellen, nach welchen sich unter allen Umständen die Theilung der Nieten berechnen liesse, weil dieselbe von dem Druck, der Qualität des Materials, Möglichkeit des Verrostens u. s. w. abhängig sein muss.

Die folgende Tabelle giebt Resultate, welche ziemlich genau mit der Praxis für einfache Vernietung in Hochdruck-Kesseln bis zu 11 Atmosphären übereinstimmen, wenn die Verhältnisse zwischen Durchmesser des Nietes und Blechdicke, wie hier gegeben, benutzt werden. Der Nietdurchmesser ist nicht im Nietschaft gemessen, sondern hierfür der durchschnittliche Lochdurchmesser gewählt.

Einfach vernietete Ueberblattung.

Blechdicke in mm	Nietdurchmesser in mm	$\tau = \frac{q}{\delta} + d$ in mm	$\tau = 2{,}5\,d$ in mm	Theilung τ für Ausführung
5	10	25,7	25	25
6	12	30,8	30	30
7	14	35,9	35	35
8	16	41,0	40	40
9	17	42,0	42,5	42
10	18	43,0	45	44
11	19	44,8	47,5	46
12	20	46,2	50	48
13	21	47,6	52,5	50
14	22	49,1	55	52
15	22	48,0	55	53
16	23	49,0	57,5	54
17	24	50,6	60	55
18	24	49,1	60	56
19	25	50,8	62,5	57
20	25	50,2	62,5	57
21	26	51,3	65	58
22	26	50,1	65	59
23	27	51,9	67,5	60
24	28	53,6	70	62
25	28	52,6		63

Man wird bemerken, dass in obiger Tabelle der Nietdurchmesser für dünne Bleche gleich der doppelten Blechdicke gewählt ist, und dies Verhältniss verringert sich mit der Dicke der Platte, bis endlich für 25 mm der Unterschied ein sehr geringer wird. Ein Grund hierfür liegt in der Schwierigkeit des Vernietens für starke Nieten, wenn man keine Maschine anwendet. Mit 25 mm Blechdicke und 28 mm Nietdurchmesser braucht man schwere Hämmer zum Umnieten und Kopfmachen, und wird hierdurch das Füllen des Nietloches und das Vorhalten unter dem Niet sehr erschwert. Die Schwierigkeit, die Bleche dicht an einander zu ziehen oder zu hämmern, nimmt ebenfalls bei Blechdicken über 16 mm sehr schnell zu, und im Allgemeinen ist die Qualität der Arbeit nicht so zuverlässig, wenn sehr dicke Bleche benutzt werden. Ein anderer Grund dafür, das Verhältniss zwischen Nietdurchmesser und Blechdicke zu verringern, ist der, dass man sonst sehr bald so grosse Theilungen erhalten würde, dass man unmöglich die Nietnaht dicht halten könnte, wenn man einigermaassen gleiche Festigkeit zwischen Niet und Blechplatte einhalten will. Für ein 25 mm starkes Blech würde man, um 60 Proc. vom Querschnitt des Bleches zu behalten und Blech und Niet in der Nietnaht gleich stark zu machen, einen 50 mm starken Niet und eine Theilung von 128 mm erhalten.

Ein solcher Niet würde jedoch, wenigstens für Handarbeit, zu stark sein, um sich gut vernieten zu lassen, und man würde sehr kräftige Nietmaschinen benutzen müssen, ausserdem würde es aber unmöglich sein, mit gewöhnlicher Arbeit einen Kessel, selbst für Mitteldruck, bei 128 mm Theilung dicht zu halten. Niete von mehr als 28 mm Durchmesser werden selten, wenn überhaupt für Kessel angewendet.

In der dritten Rubrik in der Tabelle ist die Theilung gegeben für gleichen Querschnitt des Nietes und des Bleches zwischen den Löchern. Die vierte Rubrik giebt die Theilung, welche nöthig sein würde, um 60 Proc. des Bleches in der Nietnaht zu behalten. Bei einem Vergleich dieser beiden Rubriken wird man finden, dass für Blechdicken von 5 mm bis zu 17 mm kein wesentlicher Unterschied stattfindet, für die grösseren Blechdicken ist derselbe jedoch bedeutend. Die Theilung für Blechdicken von 25 mm in der dritten Rubrik würde nur 53 Proc. des Bleches zurücklassen; wenn wir an dessen Stelle den Werth in der vierten Rubrik benutzen würden, so würden die weit von einander entfernten Niete

nur ungefähr 36 Proc. der Festigkeit der vollen Blechplatte besitzen, oder nur etwa 60 Proc. der des Bleches zwischen den Löchern. In diesem Falle würde also die dritte Rubrik eine stärkere Naht geben.

Da das Durchschnittsmaass der gestanzten Löcher in den meisten Fällen grösser ist als der ihnen von Rechts wegen zukommende Durchmesser, und die Gefahr des Verletzens beim Lochen in dicken Blechen grösser ist als in dünnen, und um ferner für etwaige Verrostung der Ueberblattung vorzusorgen, ist in der fünften Rubrik die Theilung gegeben, nach welcher gearbeitet werden sollte. In derselben ist der Blechquerschnitt etwas grösser als in der dritten Rubrik, und man behält für Bleche zwischen 5 bis 17 mm etwa 60 Proc. des Gesammtblechquerschnittes; für solche von 18 mm und mehr ungefähr 55 Proc.

Wo die Arbeit nicht zuverlässig ist, wird es anzurathen sein, die Theilung etwas zu reduciren, oder den Durchmesser der Nieten für Bleche unter 20 mm um ein Geringes zu vergrössern.

Die Ueberblattung für einfache Vernietung soll ungefähr den dreifachen Nietdurchmesser betragen, und nie mehr als 3,3 *d*.

Die in der folgenden Tabelle gegebenen Theilungen beziehen sich auf die Entfernung der Niete in einer Reihe. Die Laschen sollten in allen Fällen etwas dicker sein als das Blech, bis zu 12 mm 1,5 mm dicker, für Bleche über 12 mm etwa 3 mm dicker. In der vierten Rubrik ist die Theilung so gegeben, dass 70 Proc. des Gesammtblechquerschnittes erhalten bleiben. Für Blechplatten von 25 mm Stärke würde dies für die Nieten nur 53 Proc. von der Stärke der gelochten Platte geben. Um für 25 mm dicke Bleche mit doppelter Nietung gleiche Festigkeit für Blech und Niet zu erhalten, müssten wir 43 mm starke Niete und eine Theilung von 147 mm anwenden. Die Schwierigkeit, für dicke Platten eine gut proportionirte Nietverbindung zu erhalten, wird hieraus einleuchtend sein, sowohl für einfach als auch doppelt genietete Nähte, besonders wenn man gleichzeitig einen möglichst hohen Procentsatz des Bleches erhalten und eine dichte Nietfuge herstellen will. Bei Anwendung sehr dicker Bleche ist es am vortheilhaftesten, sich zuerst für die grösste, mit der Dichtheit der Nietnaht vereinbaren Theilung zu entscheiden, die stärksten Niete, welche sich unter den Umständen anwenden lassen, zu benutzen, und

Doppelt vernietete Ueberblattung und Laschenverbindung mit einfacher Lasche.

Blechdicke in mm	Nietdurchmesser in mm	$\tau = \frac{2q}{\delta} + d$ in mm	$\tau = 3{,}3\,d$ in mm	Theilung τ für Ausführung
5	10	41,4	33,0	40
6	12	49,7	39,6	44
7	14	59,8	46,2	48
8	16	66,2	52,8	42
9	17	67,4	56,1	56
10	18	68,8	59,4	60
11	19	70,6	62,7	64
12	20	72,4	66,0	66
13	21	74,2	69,3	68
14	22	76,2	72,6	70
15	22	74,0	72,6	70
16	23	75,0	75,9	72
17	24	77,2	79,2	74
18	24	74,2	79,2	76
19	25	76,6	82,5	78
20	25	75,4	82,5	80
21	26	76,6	85,8	82
22	26	74,2	85,8	84
23	27	76,8	89,1	86
24	28	79,3	92,4	88
25	28	77,3	92,4	90

hierauf die Festigkeit des Kesselmantels entweder nach dem geringsten Blechquerschnitt oder nach den Nieten zu berechnen, je nachdem eins oder das andere schwächer ist. In Blechen bis zu 14 mm Dicke kann man sehr wohl 70 Proc. des Blechquerschnittes für eine gut proportionirte Nietnaht und eine mässige Theilung erhalten. Für Bleche unter 12 mm Dicke hat man ein Uebergewicht an Stärke in den Nieten, wenn die gegebene Theilung benutzt wird. Es mag deshalb gerathen sein, den Durchmesser der Nieten für Hochdruck-Kessel um ein Kleines zu verringern, damit man eine dichte Naht erhält. Wenn der Kessel durchgängig doppelt genietet ist, so können 16 mm starke Nieten für Bleche von 9,5 bis 11 mm Dicke bei 57 mm Theilung benutzt werden. Es ist jedoch nicht rathsam, Nieten von verschiedenem Durchmesser für einfache und doppelte Vernietung in demselben Bleche zu

benutzen, und da es häufig vorkommt, dass man die Längsnähte doppelt, die anderen einfach nietet, so sind in der obigen Tabelle dieselben Nietdurchmesser wie für einfache Vernietung beibehalten.

Die grösste Schwierigkeit, eine gut proportionirte Vernietung bei Benutzung derselben Nieten zu bekommen, stellt sich dann ein, wenn in derselben Blechplatte doppelte Laschenverbindung und Ueberblattung zusammenkommen. In einem solchen Falle müssen wir entweder die Annehmlichkeit, gleiche Nietendurchmesser zu benutzen, aufgeben, oder mit einer schlecht proportionirten Nietnaht auf der einen oder der anderen Seite vorliebnehmen. Aus diesem Grunde, wenn in derselben Blechplatte doppelte Laschenverbindung und Ueberblattung verkommen, ist es deshalb gerathen, die Laschenverbindung einfach und die Ueberblattung doppelt zu vernieten, und könnte man in diesem Falle dieselbe Theilung und denselben Nietdurchmesser für beide Nähte benutzen. Hierbei muss jedoch noch berücksichtigt werden, dass dann in der Laschenverbindung die Theilung sehr weit ist, und man nur bei äusserst vorsichtiger Ausführung auf eine dichte Nietnaht rechnen darf. Besser ist es, die Theilung für die Laschenverbindung zu verringern, und sich mit demselben Nietendurchmesser genügen zu lassen.

Für die doppelt genietete Ueberblattung sollte die Breite fünfmal den Nietdurchmesser betragen, jede Nietreihe $1^1/_2$ Durchmesser von der Blechkante entfernt.

In doppelt vernieteten Laschenverbindungen mit doppelten Laschen können wir nicht, wie aus der vierten, fünften und sechsten Rubrik (s. Tabelle a. f. S.) zu sehen ist, den vollen, auf doppelte Abscheerung beanspruchten Nietquerschnitt verwerthen, und müssen uns mit 75 und 70 Proc. des Querschnittes des vollen Bleches begnügen; erstere Zahl für dünnere, letztere für dickere Bleche. Kleinere Niete als 16 mm sollten nicht angewendet werden, oder man muss denselben wenigstens grössere Köpfe wie gewöhnlich geben, damit dieselben der Einwirkung des Rostes besser widerstehen. Wegen der Schwierigkeit, ausreichend starke Stempel zum Stanzen der Nietlöcher zu bekommen, ist es nicht rathsam, kleinere Durchmesser als die in den Tabellen anzuwenden. Wo die Löcher gebohrt werden, braucht hierauf natürlich keine Rücksicht genommen zu werden, und eine andere Tabelle, welche für

Doppelt vernietete Laschenverbindung mit zwei Laschen (Kettenvernietung).

Blechdicke in mm	Nietdurchmesser in mm	Laschendicke in mm	$\tau = \frac{4q}{\delta} + d$ in mm	$\tau = 3{,}3\,d$ in mm	Theilung τ für Ausführung
10	15	6,5	85,7	49,5	62
11	16	7,0	89,1	52,8	64
12	16	7,5	88,3	52,8	66
13	17	8,0	86,8	56,1	68
14	18	8,5	81,8	56,1	70
15	18	9,0	84,8	59,4	73
16	19	9,5	89,9	62,7	76
17	20	10,0	93,8	66,0	79
18	21	10,5	98	69,3	81
19	22	11,0	102	72,6	84
20	23	11,5	106,6	75,9	86
21	24	12,0	110,2	79,2	88
22	25	12,5	115,6	82,5	90
23	26	13,0	118,3	85,8	93
24	27	13,5	122,4	89,1	96
25	28	14	126,5	92,4	100

25 mm starke Bleche mit 22 mm starken Nieten und 82 mm Theilung endigt, könnte aufgestellt werden.

Ausser dem Verlust an Stärke, welcher durch die ungleiche Vertheilung der Spannung durch die ganze Blechdicke in Ueberblattungsnähten verursacht wird, leiden sehr dicke Bleche häufig sehr bedeutend durch das Anrichten in Stellen, wo die Längs- und Ringnähte sich kreuzen. Schon aus diesem Grunde allein sollten für Bleche über 16 mm Dicke für die Längsnähte wenigstens stets Laschen angewendet werden. Die Breite des Streifens für doppelte Vernietung muss wenigstens das Neunfache des Nietdurchmessers betragen, und kann für dicke Streifen bis auf das Zehnfache erweitert werden, jedoch behält man in allen Fällen für die Entfernung der Mittellinie der Nietlöcher von der Blechkante $^3/_2\,d$ bei.

Fünftes Capitel.

Schweissen.

Mannigfache Constructionen, für welche das Schmiedeeisen Verwendung findet, könnten ohne die werthvolle Eigenschaft desselben, schweissbar zu sein, nicht ausgeführt werden. Es ist von der grössten Bedeutung, dass die Wirkung dieses Processes auf das Material gründlich verstanden wird, da fast mehr Verbindungen in Anwendung kommen, deren Festigkeit auf einer gesunden Schweissnaht, als auf der absoluten Festigkeit von gewalzten und geschmiedeten Theilen beruht.

Kirkaldy hat eine Reihe von Versuchen über die Bruchfestigkeit geschweisster Stäbe angestellt. Die Resultate variirten sehr bedeutend, indem der Verlust zwischen 2,6 und 43,8 Proc lag, und der Durchschnittsverlust betrug 20,8 Proc. von der Festigkeit des soliden Stabes. Der Bruch fand gewöhnlich theilweis durch die Schweissstelle, theilweis durch den soliden Stab statt. Der Verlust an Festigkeit in vier „Farnley"-Quadrateisen von 25,4 mm Dicke bei einer absoluten Festigkeit von 44,18 Kilo pro Quadratmillimeter betrug 9,47 bis 14,59 Kilo pro Quadratmillimeter. Mit vierzehn Stäben aus Glasgow „Best-Best", deren Stärke von 20 mm bis zu 32 mm variirte, betrug bei einer absoluten Festigkeit von 40,24 der Festigkeitsverlust im Durchschnitt 12,62 Kilo pro Quadratmillimeter, zeigte aber in verschiedenen Proben sehr bedeutende Unterschiede und variirte von 1,18 bis zu 17,36 Kilo.

Kirkaldy beobachtete, dass wenn ein Stab von Glasgow „Best-Best" bis zur Schweisshitze erhitzt, und dann langsam

der Abkühlung überlassen wurde, derselbe nur unmerklich an Festigkeit verlor, jedoch war die Dehnbarkeit desselben durch die hohe Temperatur und das Nichthämmern in diesem Zustande beeinträchtigt.

Mehrere Experimente sind angestellt worden, um die Festigkeit geschweisster Blechplatten festzustellen, und haben dieselben befriedigende Resultate geliefert. D. K. Clark berichtet über derartige in Woolwich angestellte Versuche mit Blechplatten, die nach dem Bertram-System geschweisst waren.

Die Schweissnaht war von verschiedener Art, erstlich die stumpfe Stossschweissung, zweitens die Ueberblattung. Die absolute Festigkeit des Bleches ergab sich bei vorherigen Versuchen für Bleche von 9,5, 11,1, 12,7 mm zu 31,56 Kilo pro Quadratmillimeter. Nennt man die Festigkeit des Bleches 100, so ergab sich die der Stossschweissung für Bleche von 9,5 und 11,1 mm zu 102 und 106 Kilo. Die Schweissung in der 12,7 mm dicken Platte war fehlerhaft. Die Resultate für die Ueberblattung waren, wie sich wohl erklären lässt, der ungleichen Vertheilung des Zuges in der Naht wegen nicht günstig, und stellten sich auf nur 66, 69 und 50 Kilo. Demnach ist die Festigkeit für die beiden Bleche von 9,5 und 11,1 mm gleich, und etwa $^2/_3$ der ursprünglichen, während die Schweissung des 12,7 mm starken Bleches nur $^1/_2$ der ursprünglichen Festigkeit zeigt. Wie schon bemerkt, lässt sich dieser Umstand durch die ungleiche Vertheilung des Zuges in der Ueberblattung erklären, worüber Näheres in der Ueberblattungsvernietung erwähnt wurde.

Wegen der unzureichenden Auskunft über die Natur der Bruchflächen und der geringen Anzahl von Versuchen, sowie der geringen Verschiedenheit in Dicke und Qualität der Bleche können diese Versuche nicht als maassgebend betrachtet werden.

In einer Vorlesung von Kirtley im „Institute of Mechanical Engineers“ gab derselbe die Resultate einer Anzahl Versuche, die mit aus geschweissten Kesselblechen geschnittenen Streifen angestellt wurden. Die Versuchsstreifen rührten von den Längsnähten geschweisster Kessel her und wurden in drei verschiedenen Breiten von 25,4, 34,9 und 38,0 mm benutzt. Die Länge betrug in allen Fällen 190 mm mit der Schweissung in der Mitte, und das Blech war 11,1 mm dick.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate zusammengestellt.

Festigkeit geschweisster Blechplatten.

Breite der Streifen in mm	Anzahl der Versuchs-streifen	In der Schweissstelle gebrochen	In der soliden Platte gebrochen	Bruchbelastung in Kilo pro Quadratmillimeter		
				Geringste	Höchste	Mittlere
25,4	15	8	7	26,04	37,55	31,87
34,9	4	2	2	30,94	35,03	33,14
38,0	4	1	3	28,56	37,08	34,24
Summe . .	23	11	12	26,04	37,55	32,51
Versuche mit 11 Streifen von derselben Blechtafel nicht geschweisst ergaben				32,65	40,71	37,24

Die in obiger Tabelle gegebenen Mittelwerthe sind die, welche sich aus den sämmtlichen Experimenten ergeben, also

in der siebenten Rubrik nicht die Mittelwerthe aus der fünften und sechsten Rubrik allein.

Aus nebenstehender Tabelle ergiebt sich, dass die Hälfte der versuchten Streifen nicht in der Schweissstelle, sondern im soliden Blech brachen.

Der durchschnittliche Festigkeitsverlust aus 23 geschweissten Streifen betrug nur 12,7 Proc. im Vergleich mit den 11 nicht geschweissten Streifen; diejenigen Stücke, welche die schlechteste Schweissung zeigten, die man in der praktischen Ausführung noch durchgehen lassen würde, besassen eine Festigkeit von 70 Proc. der soliden Blechtafel. Die beste Methode Platten zu schweissen ist die, die Blechkante im rothwarmen Zustande bis nahezu auf die doppelte Dicke anzustauchen und dann auf 45° abzuschrägen. Hierauf werden die Kanten gleichzeitig schweisswarm gemacht, und die Schweissung durch Niederhämmern bis zur Blechstärke bewirkt.

Sechstes Capitel.

Construction der Kessel.

Da die Bleche in der Faserrichtung stärker sind als senkrecht dazu, so ordnet man dieselben gewöhnlich in cylindrischen Kesseltheilen so an, dass die Faser in dem Kreisumfang liegt, weil, wie wir früher gesehen haben, in dieser Richtung eine grössere Festigkeit nöthig ist. In Kesseln mit Aussenfeuerung treten jedoch die grössten Spannungen in den unteren Blechen und parallel zur Kesselaxe auf, verursacht durch kalte Luftströmungen und kaltes Speisewasser, und manche Ingenieure ziehen es deshalb vor, die Bleche in diesem Falle in der Längsrichtung des Kessels anzuordnen. Man erreicht hierdurch ferner, dass sich diese Bleche leichter entfernen und durch neue ersetzen lassen, was für hart in Anspruch genommene Kessel ein wesentlicher Punkt ist. Wenn es sich irgend thun lässt, so ist es höchst rathsam, die direct über dem Feuer liegenden Platten so lang zu machen, dass keine Ringnietnaht im Feuer liegt, natürlich sollte man gleichzeitig danach trachten, auch die seitlichen Längsnähte so anzuordnen, dass dieselben ausserhalb des Feuerraumes liegen, weil das Feuer einen weit mehr zerstörenden Einfluss auf doppelte Blechstärken hat als auf einfache, und diese Nähte sehr häufig in den Nietlöchern beschädigt werden und lecken. In grossen Kesseln lässt sich dies leider nicht immer ausführen, weil die Bodenbleche sonst zu gross würden, wo es jedoch irgend erreichbar ist, sollte es stets gethan werden.

Es ist ferner anzurathen, den Kessel so einzumauern, dass die Kopfnaht durch einen Chamottering vor der directen Einwirkung des Feuers geschützt ist.

In kurzen Kesseln, wie in vielen der kleinen Verticalkessel, ist es am einfachsten, den Mantel aus einer Platte herzustellen, und die Faserrichtung mit der Längsrichtung des Kessels zusammenfallen zu lassen, weil man hierdurch eine Kreisnietnaht erspart. Es ist jedoch stets nothwendig, wenn die Bleche mit der Faser in der Längsrichtung angeordnet sind, einen grösseren Sicherheitscoefficienten zu erlauben.

Werden zwei Ringe in einer Kreisnaht verbunden, so dürfen die Längsnähte nie zusammenfallen, sondern müssen so weit wie möglich von einander entfernt gehalten werden. Besteht jeder Ring nur aus einer Platte, so sollen sich die Längsnähte gegenüber stehen; für zwei Platten werden sie im Viertelkreis angeordnet. Da diese Anordnung das Ausstrecken der Ecken der Bleche nöthig macht, so wird es oft umgangen und die Nähte wie in Fig. 9, Seite 92, angeordnet, wo dieselben nur um ein oder zwei Nietlöcher aus einander stehen. Da jedoch diese Anordnung nur wenig stärker ist als eine durchgehende Längsnaht, so ist dieselbe zu vermeiden. Für grosse Durchmesser, wo die Blechplatten sehr dick werden, ist das Ausstrecken der Ecken nicht nur mühsam, sondern kann auch das Eisen beschädigen, und es ist deshalb stets vorzuziehen, die Längsnähte in solchen Kesseln mit Kettenvernietung zu versehen, übrigens ist dies auch, wie schon erwähnt, der grösseren Festigkeit wegen wünschenswerth.

Die Verbindung der Ringe eines Kesselmantels zur vollen Länge geschieht auf verschiedene Art. Man macht entweder die Ringe von zwei verschiedenen Durchmessern, die grösseren um die doppelte Blechdicke weiter als die kleineren, und benutzt abwechselnd zuerst einen grösseren, dann einen kleineren Ring, oder man macht den ersten Ring am grössten und die anderen je um den doppelten Durchmesser kleiner und ordnet dieselben teleskopisch an, oder aber alle Ringe werden ganz gleich, etwas conisch, am grösseren Ende um die doppelte Blechstärke grösser angefertigt als am kleineren Ende. Alle diese Anordnungen haben ihre Vertheidiger und Liebhaber. In allen Fällen ist darauf zu achten, die Ringnähte so zu legen, dass die vom Herd kommende Flamme nicht gegen die Blechkante stösst, wenigstens bei Kesseln mit Aussenfeuerung. Die teleskopische Anordnung ist besonders für Röhrenkessel

und solche mit Feuerkasten, Locomotivsystem, beliebt, jedoch auch für andere Flammenrohrkessel empfehlenswerth. Man kann bei dieser Anordnung mit nur sehr geringer Neigung nach vorn den Kessel am besten ausstrocknen, was bei abwechselnd grossen und kleinen cylindrischen Ringen nicht möglich ist. Auch die Beseitigung von Kesselstein mit Kratzen und Besen, wenn die Reinigungsthür vorn liegt, ist wesentlich erleichtert.

In verticalen Kesseln, die sich nicht aus einem Ringe anfertigen lassen, ist es rathsam, die Naht so zu legen, dass der untere Ring der grössere ist, weil sich sonst auf der vorstehenden Blechkante leicht Kesselstein ablagern und stets Wasser stehen bleiben wird. Aus demselben Grunde bestehen viele Ingenieure, und mit Recht, darauf, die Längsnähte in horizontalen Kesseln so anzuordnen, dass kein innerer nach oben gerichteter Vorsprung gebildet wird, weil sich dadurch leicht Rosten und Lecken in der Nietnaht einstellen.

In den letzten Jahren haben sich die besseren Kesselfabrikanten besonders bemüht, möglichst grosse Blechplatten für Kesselmantel anzuwenden. Für stationäre Kessel übersteigt man jedoch nicht gern die Grösse, welche die Walzwerke noch ohne Extrapreis herstellen; das Gewicht der grössten Bleche guter Qualität für den gewöhnlichen Preis beträgt etwa 200 Kilo, und übersteigt die Breite selten 1200 mm. In vielen Fällen, wie für Platten über dem Feuer u. s. w., ist es jedoch stets rathsam, lieber den etwas höheren Preis zu bezahlen und grössere Bleche anzuwenden, wodurch Nietnähte und folglich die Wahrscheinlichkeit des Undichtseins umgangen werden.

Locomotivkesselmantel werden häufig aus Platten von solcher Länge gemacht, dass nur eine Längsnaht nöthig ist, und legt man diese am besten über die Wasserlinie, wo sie weniger leicht Anlass zum Furchen giebt. In manchen Fällen werden sogar die Längsnähte geschweisst, und die Ringnähte mit auswendigen Laschen versehen, und zieht man sogar starke schmiedeeiserne Ringe über den Mantel, um denselben noch weiter zu verstärken, wenn keine äusseren Züge vorhanden sind. Um den Verlust an Stärke durch das Lochen der Nietlöcher auszugleichen, sind zuweilen Platten mit verstärkten Kanten angewendet worden. Da diese Verstärkung jedoch nur an zwei parallelen Seiten angebracht werden kann,

und meist den Ringnähten zu Gute kommt, die derselben am wenigsten bedürfen, so gewinnt man hierdurch nicht viel.

Die Festigkeit des Cylinders und der Kugel, und theilweis die der ebenen und gewölbten Flächen, ist bereits früher erörtert worden.

In Kesseln von nur mittlerem Durchmesser und bei gewöhnlichem Druck sind die ebenen Endplatten von den meist benutzten Dimensionen so schwach, wenn nicht anderweitig verstärkt, dass die Ausbauchung gefährliche Dimensionen annehmen, und schliesslich die Nietköpfe lossprengen würde, wenn man die Enden in der gebräuchlichen Weise mit Winkeleisenringen befestigt. Das abwechselnde Ausbauchen und Wiederzurückgehen bei verändertem Druck wird auch bald dazu führen, das Material in der Nietlinie zu brechen, oder wird die Fasern des Eisens an den Stellen zu öffnen suchen, wo diese Wirkung am fühlbarsten ist, gewöhnlich längs der Innenkante des Winkeleisens, wodurch Furchen, Lecken und schliesslich Bruch eintreten wird, worüber Näheres im neunten Capitel gesagt ist. Dass die Methode der Befestigung der End- oder Kopfplatten mit dem Kesselmantel wesentlichen Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit der Endbleche hat, ist ebenfalls schon im zweiten Capitel gezeigt worden. Diese Befestigung kann entweder durch Umbördelung der Endplatte, Flantschen des Cylinders oder durch innen oder aussen befestigte Winkeleisenringe bewirkt werden.

In Fällen, wo eine besondere Steifheit dicht am Umfange nicht nöthig ist, wie in Kesseln mit innerer Feuerung, wo man der Platte gern Freiheit zum Federn lässt, thut man am besten, den äusseren Winkeleisenring oder aber das Flantschen des Cylindermantels anzuwenden. Im Allgemeinen findet bei der Anwendung geflantschter Endplatten nicht so leicht ein Furchen statt wie bei Anwendung von Winkeleisen, besonders wenn man die Bleche in möglichst grossem Radius von circa 90mm umbördelt, und ist diese Methode die empfehlenswertheste, weil dabei auch die Dicke des Bleches nicht so sehr reducirt wird. In den sogenannten Cornish- und Lancashire-Kesseln ist es gebräuchlich, die vordere Kopfplatte durch einen äusseren Winkeleisenring, die hintere Endplatte durch inneren Winkeleisenring oder umgebordelte Endplatte zu befestigen. Die Kopfplatten von verticalen Kesseln werden entweder nach innen geflantscht, oder durch inneren Winkeleisenring befestigt. In Fällen, wo die inneren Flammrohre

bis auf 120 bis 150 mm dem Mantel nahe kommen, ist es rathsam, äussere Winkeleisenringe anzuwenden, damit die Platte Platz hat etwas zu federn.

In kleinen verticalen Kesseln kann man die Kopfplatte durch eine schwache Wölbung hinreichend verstärken, so dass man keiner weiteren Verankerung bedarf, um so mehr als die verticalen Röhren sehr wesentliche Verankerungen bilden, wenn sie gut befestigt sind. In Fällen, wo eine grosse Anzahl Rohre von geringem Durchmesser angewandt wird, muss man schon wegen der vielen Durchbohrungen in der Rohrwand dieselbe dicker ausführen, und bedarf dieselbe dann sehr oft keiner weiteren Verstärkung. Man findet häufig die Kopfplatten von verticalen Kesseln so stark gewölbt, dass dieselben bei Ausdehnung der inneren Röhren nicht nachgeben können, wodurch diese leicht in der Rohrwand zu lecken anfangen.

Die mannigfachsten Methoden sind von Zeit zu Zeit aufgetreten, um den inneren Verbrennungsraum im verticalen Kessel unten mit dem äusseren Mantel zu verbinden. Die verbreitetste Methode ist der volle schmiedeeiserne geschweisste Ring; dieser sollte niemals von geringerer Höhe sein als seine Breite beträgt, weil der Dampfdruck auf die Kopfplatte das Bestreben hat, denselben umzukanten.

Wenn der Ring zu niedrig ist, so wird durch diese Wirkung auf die Kopfplatte häufig ein Furchen des Mantels dicht an der oberen Kante des Ringes verursacht. Wenn diese Ringe über 75 mm breit und hoch werden, so ist es anzurathen, dieselben doppelt zu nieten, besonders für hohen Druck, weil dadurch Furchen und Lecken verhindert werden. Es giebt eine Anzahl anderer Methoden, die jedoch nicht erwähnt zu werden brauchen.

Wenden wir uns nun zu den verschiedenen Methoden der Verstärkung und Versteifung ebener und wenig gekrümmter Flächen durch verschraubte und vernietete Stehbolzen, Verstärkungsrippen, Deckbarren, Blechanker u. s. w.

Der Unterschied in Festigkeit geschraubter und nicht geschraubter Stehbolzen hängt nach Herrn Kirkaldy wesentlich von der Art und Weise des Schneidens ab. Alte Schneidwerkzeuge haben die Wirkung, das Eisen zu härten und auf Kosten der Elasticität desselben die Zugfestigkeit zu erhöhen, während neue Kluppen und Schneidebacken einen reineren Schnitt nehmen. Die durchschnittliche Bruchbelastung auf Zug für Bolzen von 25 mm und darüber kann zu 31,5 Kilo

pro Quadratmillimeter des vollen Querschnitts, nach Abzug des Gewindes angenommen werden. Es ist oft behauptet worden, dass Bolzen geringeren Durchmessers von 16 bis 20 mm eine grössere Festigkeit pro Querschnittseinheit besitzen als solche von 30 und mehr Millimeter Durchmesser, jedoch wird diese Behauptung durch neuere Experimente nicht bestätigt, wenigstens nicht in dem Grade, wie zuweilen behauptet wurde, bis zu 50 Proc. Um die ursprüngliche Festigkeit eines Stehbolzens zu bewahren, und gleichzeitig das Einschrauben in die Wände zu erleichtern, verstärkt man dieselben oft in dem geschnittenen Theile. Man erreicht hierdurch ferner, dass ein Bolzen unter hoher Inanspruchnahme sich gleichmässig streckt, ein Umstand, der, wie wir früher gesehen haben, wesentlich von der Gleichmässigkeit des Querschnitts abhängig ist. Ein Stab von gewöhnlicher Qualität und gleichem Querschnitt dehnt sich vor dem Zerreissen sehr bedeutend aus, und hängt die Grösse der Ausdehnung wesentlich von der Güte des Materials ab. Ist jedoch der Querschnitt dieses Stabes in einer oder mehreren Stellen verringert, so localisirt sich die Ausdehnung auf diese schwächsten Stellen, und ein Stab mit schmalen Nuten, wie die Gänge eines Gewindes, dehnt sich in diesen fast gar nicht. Aus diesem Grunde findet man nicht selten, dass mit Gewinde versehene Bolzen ohne verstärkte Enden plötzlich unter Zug abreissen, meist da, wo das Gewinde anfängt. Vergrössert man den Durchmesser im Gewindetheile des Bolzens, so dass der innere Schraubendurchmesser noch etwas grösser ist als der nicht geschnittene Theil des Stabes, so vertheilt sich die Streckung gleichmässiger, und der Bolzen erträgt plötzliche Spannungen weit besser.

Für Locomotivfeuerkasten dreht man oft den mittleren Theil der Stehbolzen ab oder verstärkt von vornherein die Enden zum Gewindeschneiden. Ausser dem bereits oben erwähnten Vorzug halten diese Bolzen auch die durch ungleiche Ausdehnung der inneren und äusseren Feuerkiste verursachte Biegung weit besser aus, und sollen nicht mit Gewinde versehene Bolzen dem Rosten besser widerstehen.

Viele Fabrikanten ziehen es vor, Locomotivstehbolzen aus Kupfer anzufertigen, und dieselben mit einer feinen Bohrung in der Längsaxe zu versehen. Diese sind im Allgemeinen zuverlässiger, in Fällen jedoch, wo salzhaltiges Wasser verwendet wird, leiden die Bleche unter dem Stehbolzenkopf oft so bedeutend, dass fast gar kein Gewinde übrig bleibt, die Blech-

platte erscheint wie tief versenkt, und der Haupthalt des Bolzens liegt am Kopfe, welcher deshalb für kupferne Stehbolzen grösser ausgeführt werden sollte, als gewöhnlich der Fall ist. Für die im Feuer liegenden Stehbolzen ist Kupfer entschieden vorzuziehen. Bei einer Dicke von Blechen bis zu 11 mm sollte der geringste Stehbolzendurchmesser nicht weniger als 19 mm betragen, weil sonst, selbst bei Bolzen von nur 75 bis 80 mm Länge, zwischen den Blechen dieselben sich beim Nieten leicht verbiegen. Für eiserne Stehbolzen kann man unter sonst gleichen Verhältnissen bis auf 16 mm heruntergehen. Stehbolzen von mehr als 28 mm Durchmesser für Blechdicken von 11 mm sind zu vermeiden, weil beim Kopfnieten das Gewinde zu leicht beschädigt wird.

Für Blechplatten von weniger als 19 mm Dicke soll die Anzahl der Gewinde am Stehbolzen 11 oder 12 pro 25 mm Länge nicht überschreiten, damit der Bolzen im Blech einen guten Halt bekommt.

Schraubt man die Stehbolzen nicht in das Blech, so ist es nöthig, innen und aussen eine Unterlegscheibe und Mutter anzuwenden. Die Höhe der Mutter ist gleich dem Bolzendurchmesser zu machen, wobei allerdings die Mutter stärker ist als der Bolzen, jedoch ist dies bei gewöhnlicher Ausführung, wo die Gewinde zuweilen etwas lose sind, anzurathen. Für vorsichtige Ausführungen hat sich durch Experimente ergeben, dass wenn die Höhe der Mutter $^3/_4$ des Schraubendurchmessers beträgt, so haben beide ungefähr gleiche Festigkeit.

Längere Rundeisenanker befestigt man oft in ähnlicher Weise wie Stehbolzen, entweder durch Einschrauben und Umnieten, oder durch Unterlagscheiben und Muttern, oder aber man befestigt dieselben mit Hilfe von Bolzen oder Keilen an Winkel- und T-Eisenrippen, die an die Blechplatten genietet, und dadurch auch die Wirkung des Ankers auf eine grössere Fläche vertheilen. In allen Fällen sollten die Bolzen auf doppelte Abscheerung angeordnet werden, entweder dadurch, dass man am Ende des Ankers eine Gabel bildet, und die T-Eisenrippe dazwischen anbringt, oder indem man zwei Winkeleisen parallel neben einander in der Entfernung der Ankerdicke annietet.

Berechnet man den Anker und den Bolzen für gleiche Stärke, so wird der Bolzendurchmesser, weil auf doppelte Abscheerung, oft zu geringe, um im Winkel- oder T-Eisen eine hinlänglich grosse Auflagefläche zu finden, da deren

Dicke selten mehr als 16 mm beträgt. In diesem Falle ist es besser, an das Ende des Ankers ein starkes T anzuschweissen, und nun an Stelle eines grösseren mehrere Bolzen von gewöhnlichen Dimensionen anzuwenden. Zu starke Bolzen würden auch in den meisten Fällen das Winkel- oder T-Eisen zu sehr schwächen, und es ist aus diesem Grunde oft rathsam, Blechstücke von 12 bis 16 mm Dicke anzunieten und den Anker zwischen diesen zu befestigen.

Ein Fehler, dem man in Kesselankern oft begegnet, ist der, dass bei Anwendung eines T-Eisens und eines gabelförmigen Ankers der Bolzen nicht durch einen vorgeschlagenen Keil gesichert ist. Hierdurch ist es möglich, dass sich die Gabel öffnet und dann den Bolzen verbiegt, und findet man derartige Bolzen fast völlig umgebogen und gänzlich nutzlos.

Die früher z. B. beim Watt'schen Kofferkessel häufig benutzte Construction der Verankerung durch Bügel und Spletten wird heute nur noch selten angewendet. Es ist in dieser Anordnung darauf zu achten, das Loch im Bügel nur gerade gross genug zu machen, damit der Anker hindurchgesteckt werden kann, und ferner die Spletten von hinreichender Länge und Stärke herzustellen, weil dieselben gewöhnlich verbogen und hierdurch untauglich angetroffen werden.

Wenn die ebene Fläche klein und der Dampfdruck nicht bedeutend ist, werden die Anker zuweilen weggelassen, und der Platte durch aufgenietete Winkel- und T-Eisen Steifigkeit ertheilt. Man stellt diese entweder radial oder in irgend welche andere passende Stellung. Dass diese Methode gänzlich unzulässig und sehr verwerflich ist, braucht kaum erwähnt zu werden, und doch trifft man dieselbe nur zu häufig an. Es liessen sich eine Unzahl von Fällen aufzählen, in welchen in Folge dieser Anordnung sehr unangenehme und sogar gefährliche Vorfälle passirten. Die Ursache zur Anwendung dieser verwerflichen Mode ist in den meisten Fällen Ersparniss an Material und Arbeit, oft werden jedoch auch schlechte Erfahrungen mit Ankern und Verstärkungsrippen vorgeschützt.

Es wird zuweilen angenommen, dass die flachen Kesselenden durch Verstärkungsrippen vor dem Ausbauchen geschützt sind, und so wäre jedes weitere Verankern derselben unter einander oder gegen den Kesselmantel unnöthig, weil die Niete, durch welche die Boden mit dem Mantel verbunden sind, alles Uebrige in sich aufnehmen. Dass dem nicht so

ist, oder wenigstens nur in ganz neuen Kesseln, zeigt die Praxis zu klar. Die fortwährenden Biegungen, denen eine ebene Fläche ihrer Natur zufolge bei veränderlichem Druck unterworfen ist, üben einen sehr verderblichen Einfluss auf diese Verstärkungsrippen aus, mögen dieselben im Anfang auch völlig ausreichend gewesen sein. Es lassen sich Fälle aufführen, in denen T-Eisen in Kesseln mit innerer Feuerung in wenigen Jahren bei gewöhnlichem Druck gänzlich untauglich geworden sind, trotzdem dieselben bei der hydraulischen Druckprobe von doppeltem Betriebsdruck keine Spur von permanenter Biegung zeigten. In den hier erwähnten Fällen hatten die T-Eisen nicht durch Rostangriff gelitten, sondern der Verlust an Widerstandskraft kann nur den fortwährend sich ändernden Spannungen zugeschrieben werden.

Der Umstand scheint oft übersehen zu werden, dass wenn eine Endplatte nur durch Winkel- und T-Eisen verstärkt, aber nicht anderweitig verankert ist, so übt der auf diese Platte wirkende Druck eine bedeutende Spannung auf die Nieten und Nietköpfe aus, welche die Endplatte mit dem Winkeleisen und dem Kesselmantel verbinden. Man findet deshalb auch nicht selten, dass derartige Endplatten in der Linie der Nietlöcher zerreissen.

Nur in Kesseln von sehr geringem Durchmesser und mit niedrigem Druck lassen sich derartige Verstärkungsrippen rechtfertigen, und in anderen Fällen mögen dieselben neben Ankern mit Vortheil Verwendung finden, jedoch übertragen dieselben stets nur den Druck auf die Stelle des Bleches, wo der Anker aufhört, und zeigt sich hier sehr oft die schädliche Wirkung auffallend. In Kesseln von bedeutender Länge, 6 m und darüber, ist es nothwendig, die von Ende zu Ende gehenden Anker zu unterstützen, und wenn dieselben nicht wenigstens an einem Ende mit Schraube und Mutter versehen sind, so müssen dieselben in der Mitte mit einer Verschraubung oder einer Keilvorrichtung zum Festziehen versehen sein. Es ist von grösster Wichtigkeit, dass die Longitudinalanker in keiner Weise die leichte Revision und Reinigung des Kessels beeinträchtigen, in leider zu vielen Fällen findet man diesen Punkt fast gänzlich unbeachtet und die oft sehr schwachen Anker in solcher Zahl und derart angebracht, dass es unmöglich ist, die Kessel zu befahren und zu reinigen. Bei Kesseln von einigermaassen hinreichender Länge sind deshalb die Blech- und Winkeleisenanker diesen durchgehenden Anker-

bolzen weit vorzuziehen, in sehr kurzen Kesseln können diese jedoch auch häufig Anlass zu grosser Verengung geben.

In allen Fällen, wo einfache Blechplatten zu Ankern verwendet werden, müssen dieselben durch doppelte, beiderseitige Winkeleisen mit dem Kesselmantel und Boden verbunden werden, wodurch die Nieten auf doppelte Abscheerung beansprucht werden. Dieselben einfach gegen eine Seite eines Winkel- oder T-Eisens zu nieten, ist gänzlich unzulässig, weil sich eine stabile Construction auf diese Art für die Dauer gar nicht herstellen lässt. Doppelte Blechanker anzuwenden ist nicht zu empfehlen; erstens sind sie theurer, ferner würde sich zwischen denselben Kesselstein ablagern, der schwer zu entfernen ist, und endlich lässt sich mit einfachen Blechplatten dasselbe erzielen.

Manche Kesselfabrikanten befestigen die Blechanker am Kesselmantel ehe die Böden eingesetzt sind, jedoch erfordert dies sehr sorgfältige Arbeit, erleichtert allerdings das Vernieten der Winkeleisen an dem Kesselmantel. Sonst kann man auch die Blechanker einfach vor dem Vernieten der Böden in den Kessel hineinbringen, und die Löcher später vorzeichnen; das Mannloch ist meist zu klein, um die Blechanker durch dieses hineinbringen zu können. Es ist anzurathen, diese Blechanker radial anzuordnen, weil es dann nicht nöthig ist, die Winkeleisen, welche dieselben an den Kesselmantel befestigen, besonders zu biegen. Man thut ferner gut, die Ecken oder vielmehr den vom Mantel und der Endplatte gebildeten rechten Winkel frei zu halten und die Blechplatte nicht bis scharf dort hineingehen zu lassen, weil dadurch das gründliche Reinigen verhindert wird. Wo man übrigens einen grossen Krümmungsradius für die Endplatte anwendet, ist dies schon von selbst verhindert. Natürlich müssen die die Winkeleisen an den Endplatten befestigenden Nieten hinlänglich stark sein, um den auf den Blechanker fallenden Theil des Druckes aufzunehmen, und die Nieten, welche die Blechplatte mit den Winkeleisen verbinden, sind auf Abscheerung beansprucht. Die Blechanker werden am besten nicht als kurze Zwickel, sondern in langen flachen Streifen angewandt, und wenn möglich am zweiten Ringe vom Ende aus befestigt; dadurch wird derselbe fast gleichmässig auf Zug beansprucht. Man führe die Verankerung der flachen Endplatten so aus, dass dieselben den ganzen auf diese ausgeübten Dampfdruck aufnehmen, ohne die Festigkeit der Platte selbst in Rechnung zu ziehen. Blechanker müssen

auch einen sehr hohen Sicherheitscoefficienten erhalten, weil man nicht nur das Zerreissen, sondern selbst das Strecken verhindern will, begnüge sich also mit einer Belastung von 5 Kilo pro Quadratmillimeter, also etwa $\frac{1}{3}$ der Elasticitätsgrenze. Es unterliegt keinem Zweifel, dass wo dieselben gut angebracht werden können, die Blechplattenanker die beste Verankerung für flache Böden bilden, besonders wenn dieselben von hinreichender Breite gemacht werden, so dass sie den Zug auf eine grosse Länge des Mantels übertragen. Um selbst eine schädliche Ausdehnung dieser Blechanker zu vermeiden, ist es rathsam, dieselben nicht höher als 4,5 bis 5 Kilo pro Quadratmillimeter Querschnitt, nach Abzug der Nietlöcher, zu belasten. Natürlich ist es nöthig, auch die Nieten, durch welche das Winkeleisen befestigt ist, in ihrer verschiedenen Beanspruchung zu berechnen und hinlänglich stark zu machen. Für den Fall, dass eine Endplatte in den Nietlöchern zerreissen sollte, würden die Blechanker, wenn gut angeordnet, am besten im Stande sein, dieselbe vor dem gänzlichen Bruch zu bewahren; der Druck würde durch den Riss allmälig reducirt werden, statt dass die Platte mit grosser Gewalt herausgeschleudert würde und eine gefährliche Explosion verursachte. In Fällen, wo der Druck im Kessel ein sehr hoher ist, thut man gut, den Blechanker zu verlängern und sowohl an dem zweiten als am ersten Mantelringe zu befestigen. Lange einfache cylindrische Kessel mit äusserer Feuerung, welche zuweilen durch Durchbiegen Risse bekommen, sollten ihre Enden durch starke Blech- oder Stabeisenanker verbunden haben, und letztere müssen gründlich unterstützt werden. Diese Anker haben nicht so sehr den Zweck, das Bersten in den Ringnähten zu verhüten, als vielmehr das Herausschleudern der beiden Enden im Falle eines Querrisses und somit eine gefährliche Explosion zu verhindern, oder diese wenigstens in ihrer Wirkung wesentlich abzuschwächen.

Gerade Rauch- und Heizrohre, welche entweder durch Winkeleisenringe oder durch Flantschen mit dem Kesselboden verbunden sind, sowie Heizröhren kleineren Durchmessers, die in der Rohrwand umgenietet oder sonst gut befestigt sind, können als Anker zwischen den Platten, welche sie verbinden, angesehen werden. Wenn jedoch eine grosse Anzahl enger Rohre in einer Rohrwand befestigt sind, und letztere ist von bedeutendem Durchmesser und nicht sehr dick, so müssen ausser den gewöhnlichen Befestigungs-

methoden der Rohre noch besondere Maassregeln getroffen werden. Entweder verlängert man einige der Rohre über die Rohrwand heraus und schraubt eine Mutter vor, oder man lässt ein Rohr weg und wendet einen Ankerbolzen, von Rohrwand zu Rohrwand gehend, und mit guter Unterlagscheibe versehen und innen und aussen verschraubt an; letztere Methode ist entschieden besser.

Es darf nicht vergessen werden, dass bei Heizröhren, wenn dieselben auf dem ganzen Umfange gleichzeitig erhitzt werden, wie in verticalen Kesseln, oder wie bei horizontalen Kesseln, besonders an der oberen Seite, durch deren Ausdehnung, welche grösser ist als die des Mantels, eine sehr bedeutende Spannung auf die Rohrwände ausgeübt wird, die unabhängig ist von der Spanung, welche durch den Dampfdruck verursacht wird. Dies tritt natürlich dann im geringeren Maasse auf, wenn die Röhren so lang im Verhältniss zu ihrem Durchmesser sind, dass sie sich durch Biegen dieser Ausdehnung anpassen. Erst nachdem das Rohr sich bis zu der der Temperatur der durchstreichenden Gase entsprechenden Länge ausgedehnt und die Rohrwand sich dieser Ausdehnung auf die eine oder andere Weise angepasst hat, kann das Rohr selbst als Anker angesehen werden. Aus dieser Betrachtung ist einleuchtend, dass die Rohre Freiheit haben sollten, sich auszudehnen, ohne unverhältnissmässig auf die Rohrwände zu drücken, und kann dies am besten dadurch erzielt werden, dass man die Endplatten so dünn herstellt, wie sich mit der Sicherheit in Einklang stellen lässt, und die Ankerbolzen in gehöriger Entfernung anbringt, damit die Platte eine gewisse Elasticität besitzt. Nachdem die Ausdehnung der Rohre stattgefunden, verlässt man sich dann für Festigkeit auf die Rohre, und wie gut man dies thun darf, geht aus einer Reihe sehr ausführlicher Versuche hervor, die hier im Auszuge folgen. Die Daten für diese Tabelle sind dem „Engineering“ Vol. XXIV entnommen.

Diese Experimente wurden von dem Oberingenieur Herrn W. H. Shock im Marine-Departement zu Washington, U. S. A. ausgeführt. Zur Untersuchung kamen 48 Messingrohre und 18 Eisenrohre. Dieselben wurden in viereckigen Platten, die Rohrwand darstellend, befestigt, und in, in Hälften ausgeführte dicke Platten, an denen die Zugbügel befestigt waren, so eingefügt, dass das Rohr durch ein rundes Loch von wenig mehr als dem Rohrdurchmesser heraustrat. Hierdurch ist ein Ver-

biegen der Rohrwand folglich unmöglich gemacht, ein Umstand, der auf die Festigkeit des Rohres in der Rohrwand von Einfluss sein dürfte. Die zu den Versuchen verwendeten Rohrwände variirten von 9,5 bis 19 mm, und wurden eiserne, kupferne und stählerne Platten benutzt. Die Experimente wurden bei einer Durchschnittstemperatur von 22° C. ausgeführt.

Die auf Seite 124 bis 126 stehenden Tabellen geben nicht die einzelnen Resultate, sondern die zusammengehörigen Versuche sind vereinigt und das Durchschnittsresultat gegeben.

Diese Tabellen sprechen für sich selbst und bedürfen nur weniger erläuternder Worte. Die Messingrohre wurden fast in allen Fällen durch den angegebenen Zug aus der Rohrwand herausgerissen, wobei der umgenietete Theil mehr oder weniger beschädigt wurde. Nur in einem Falle zerriss das Rohr innerhalb der Rohrwand und liess den Kopf unbeschädigt darin, dies ist No. 6, wahrscheinlich war hier durch unvorsichtiges Umnieten das Rohr beschädigt. Die nach Prosser's Methode befestigten Rohre wurden alle aus der Rohrwand herausgerissen. Von den mit Muttern verschraubten wurde bei No. 18 das Gewinde abgestreift, während bei No. 19 mit Rohrring das Rohr dicht unter der Rohrwand im Gewinde zerriss.

Fig. 13.

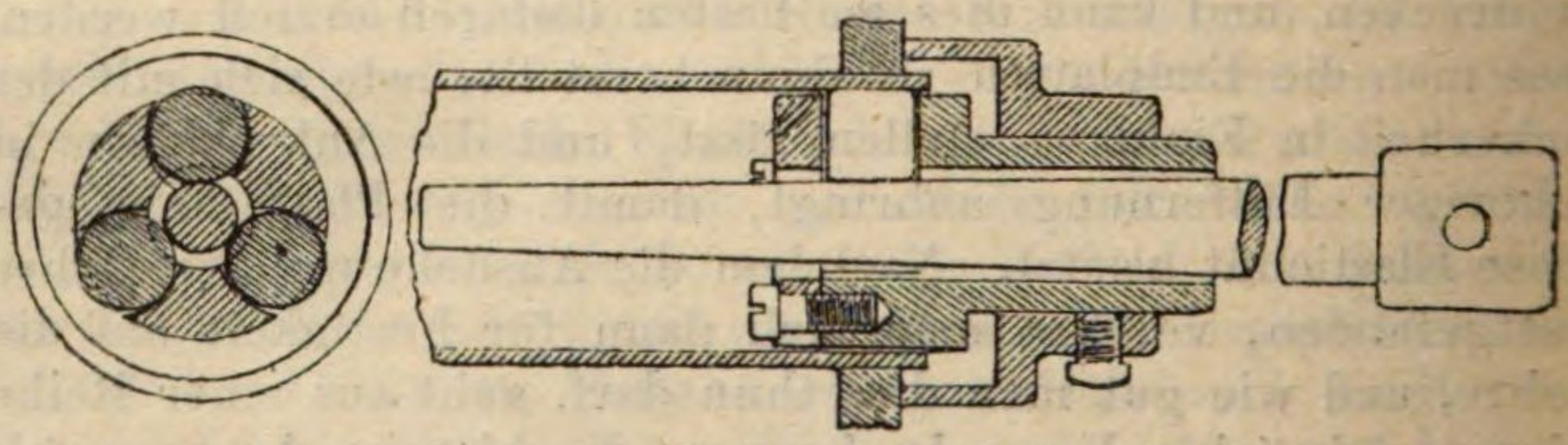
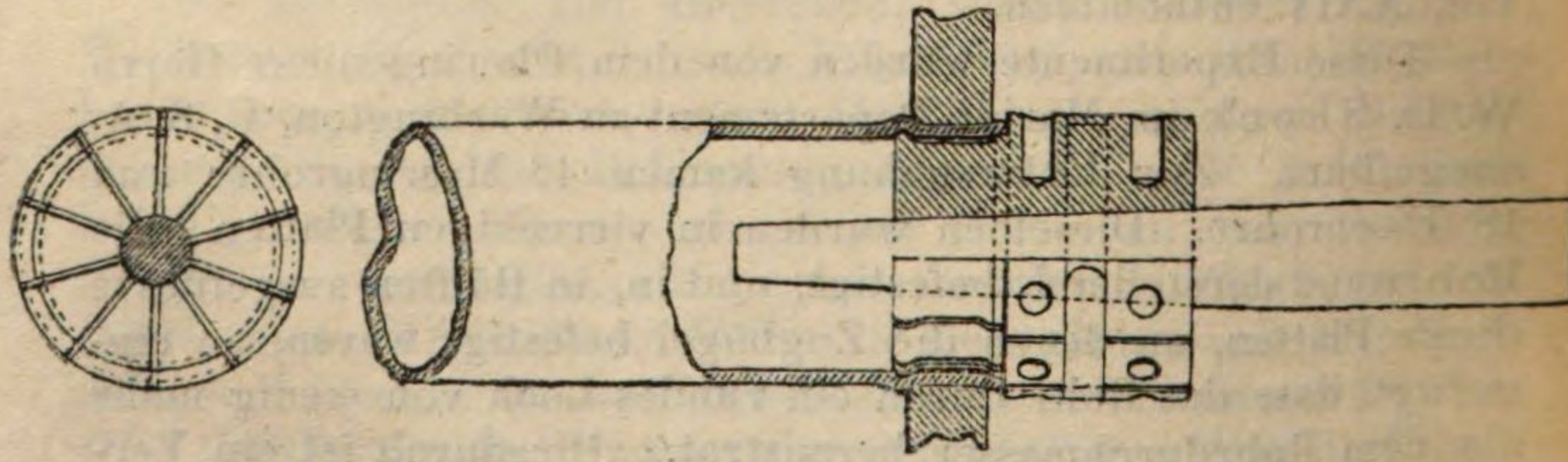


Fig. 14.



Allgemein lässt sich aus diesen Resultaten folgern:

1. Dass Rohre nach Dudgeon's Methode befestigt und umgenietet (s. Fig. 13, S. 122) weit fester in der Rohrwand sitzen als die nach Prosser's Methode befestigten (s. Fig. 14, S. 122), und zwar ist der Unterschied bei dünnen Rohrwänden am auffälligsten.

2. Dass Rohre nach Dudgeon's Methode befestigt und nicht umgenietet nicht so fest in der Rohrwand sitzen wie die nach Prosser's Methode befestigten.

3. Dass bei beiden Systemen die Anwendung von Rohrringen wesentlich die Festigkeit der Verbindung vergrössert.

4. Dass eiserne Rohrringe wirksamer sind als solche aus Messing.

Die eisernen Rohre zeigen nur insofern einen Unterschied von den Messingrohren, als bei letzteren in vielen Fällen, wo das Rohr eingenietet war, ein Bruch dicht unter der Vernietung innerhalb der Rohrwand stattfand. Besonders bei den Messingrohren zeigte sich eine ganz bedeutende Reduction des Durchmessers unter dem angewandten Zug; eins der Rohre war bei einem ursprünglichen Durchmesser von 63,5 mm an einer Stelle bis auf 57,2 mm verdünnt. Bei den Eisenrohren war dies in den meisten Fällen nicht zu bemerken, jedoch war No. 4 von 66,67 mm auf 65 mm reducirt. Eine einfache Betrachtung ergiebt, dass die Rohre selbst im ungünstigsten Falle einen weit höheren Druck ertrugen ehe ein Bruch eintrat, als dieselben je ausgesetzt sind.

Nimmt man die Entfernung von Mitte zu Mitte der Rohre zu 90 mm an, so kommt auf jedes Rohr ein Querschnitt von 81 qcm, hiervon den Rohrquerschnitt 31,7 abgezogen, bleibt 49,3 qcm. No. 1, Messingrohr, ertrug einen Zug von 3068 Kilo, dies auf den vorliegenden Fall reducirt giebt $\frac{3068}{49,3} = 62,2$ Kilo pro Quadratcentimeter.

Trotzdem diese Experimente nur mit Rohren von 63,5 und 66,67 mm Durchmesser und ungefähr 3 mm Dicke ausgeführt wurden, so sind dieselben doch von grossem Werthe, vielleicht werden, nachdem die Sache einmal angeregt ist, Experimente mit Rohren von verschiedenen Durchmessern und Dicken ausgeführt werden.

Resultate der Experimente mit Messing-Siederohren.

No.	Aeusserer Durchmesser in mm	Querschnitt in Quadratmillimeter	Rohrring 3 mm dick 32 mm hoch	Dicke der Rohrwand	Zug in Kilo, bei welchem die Verbindung zerstört wurde	Bemerkungen über Art der Befestigung des Rohres in der Rohrwand
I. Mit Dudgeon's Apparat befestigt (s. Fig. 13, S. 122).						
1	63,5	580	ohne Ring	19	3068	Eingerollt, vorn 3 mm überstehend.
2	„	„	Eisenring	19	6434	Eingerollt und mit Rohrring versehen.
3	„	„	Eisenring	19	15625	Eingerollt und Rohr und Ring umgenietet.
4	„	„	ohne Ring	9,5	10486	Eingerollt und umgenietet.
5	„	„	Eisenring	9,5	17114	Eingerollt und Rohr und Ring umgenietet.
6	„	„	ohne Ring	12,7	9614	Eingerollt und umgenietet.
7	„	„	ohne Ring	19	3739	Rohrwand conisch versenkt, Rohr eingerollt.
8	„	„	Eisenring	19	6545	Rohrwand conisch versenkt, Rohr und Ring eingerollt.

II. Mit Prosser's Apparat befestigt (s. Fig. 14, S. 122).

9	63,5	580	ohne Ring	9,5	4693	Bei den mit Prosser's Apparat eingezogenen Rohren steht das Rohr, wie aus Fig. 14 (S. 122) ersichtlich ist, einige Millimeter über der Rohrwand hervor und ist etwas umgebördelt. Die Rohrringe werden ebenfalls in derselben Weise mit Hülfe dieses Apparates eingesetzt.
10	„	„	Eisenring	9,5	11750	
11	„	„	ohne Ring	12,7	5454	
12	„	„	Eisenring	12,7	12636	
13	„	„	ohne Ring	19,0	6693	
14	„	„	Eisenring	19,0	13293	
15	„	„	Messingring	9,5	8068	
16	„	„	Messingring	12,7	7898	
17	„	„	Messingring	19,0	10386	

III. Durch 19 mm hohe Muttern aussen verschraubt.

18	63,5	580	ohne Ring	19,0	13057	
19	„	„	Eisenring	19,0	17898	

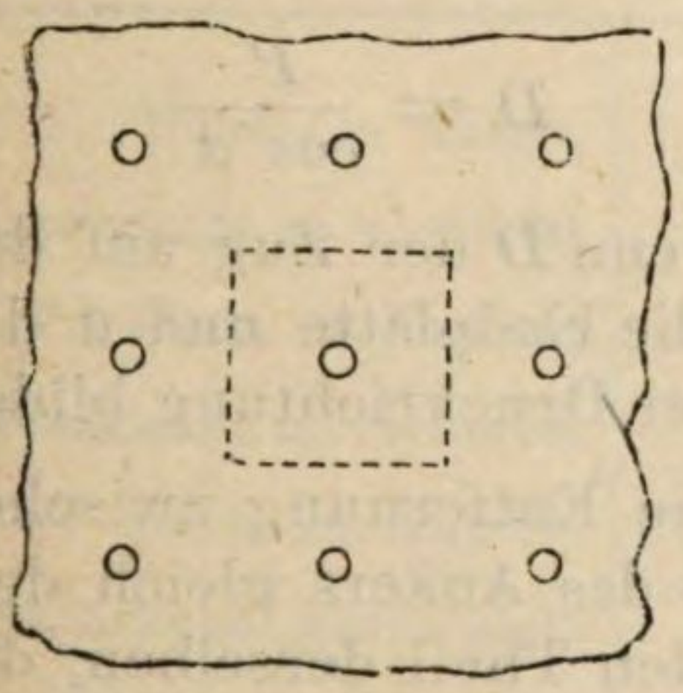
IV. Eisenrohre mit Dudgeon's Apparat befestigt.

No.	Aeusserer Durchmesser des Rohres in mm	Aeusserer Durchmesser am kleinen Ende in mm	Querschnitt des Rohres in Quadratmillimeter	Obere Rohrwand		Untere Rohrwand		Zug in Kilo, bei welchem die Verbindung zerstört wurde	Bemerkungen über Art der Befestigung
				Material	Dicke	Material	Dicke		
1 . . .	66,67	60,32	633	Eisen	11,1	Stahl	9,5	11525	Rohr in beiden Rohrwänden umgenietet u. in unterer Rohrwand mit Kupferring aussen versehen.
2 . . .	„	„	„	„	„	Kupfer	15,875	9391	Rohr in beiden Rohrwänden umgenietet.
3 . . .	„	„	„	„	„	Stahl	9,5	10070	Rohr in beiden Rohrwänden umgebördelt od. theilweis umgenietet.
4 . . .	„	„	„	„	„	„	„	11668	Rohr in beiden Rohrwänden 4 mm überstehend und mit Eisenrohrring versehen.
5 . . .	„	„	„	„	„	„	„	5682	Rohr steht in beiden Rohrwänden 4 mm über.
6 . . .	„	„	„	„	„	„	„	3363	Rohrwände conisch ausgebohrt, 66,67 auf 68,26 und 60,32 auf 55,56 reducirt.
7 . . .	„	„	„	„	„	„	„	9009	Rohrwände conisch ausgebohrt, 66,67 auf 71,44 und 60,32 auf 65,09

Die flachen Endplatten von Röhrenkesseln besonders, und auch von gewöhnlichen cylindrischen Kesseln sind stets aus einer Tafel herzustellen oder aber zu schweissen, und nicht aus mehreren Stücken zusammenzunieten, weil diese Nietnähte sehr leicht Ursache zum Lecken und Furchen geben.

Die gebräuchliche Methode, die auf einen Stehbolzen wirksame Zugkraft zu berechnen, ist, den Druck auf das Blechstück zu berücksichtigen, welches dem Stehbolzen gewissermaassen angehört. Für die im Wasserraum eines Locomotivkessels gelegenen Stehbolzen kann man das in Fig. 15 bezeichnete Quadrat benutzen.

Fig. 15.



Wo man mit sehr hohem Druck zu thun hat wie in Locomotivkesseln, lässt man die Stärke der Platte gewöhnlich ausser Acht, und verfährt so, als ob der Stehbolzen den ganzen Zug aufzunehmen hätte. Derartige Stehbolzen sollten nicht höher als mit $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{10}$ der Bruchbelastung angestrengt werden, oder im Durchschnitt etwa 3 Kilo pro Quadratmillimeter, damit dieselben noch nach theilweiser Schwächung durch Rosten eine hinreichend hohe Sicherheit bieten. Hierbei ist zu bedenken, dass die ganze Oberfläche des Bolzens dem oxidirenden Einfluss des Wassers ausgesetzt ist, während das Blech nur immer von einer Seite angegriffen werden kann.

Man findet die Grösse des Querschnitts eines Stehbolzens nach folgender Formel:

$$A = \frac{S^2 P}{300},$$

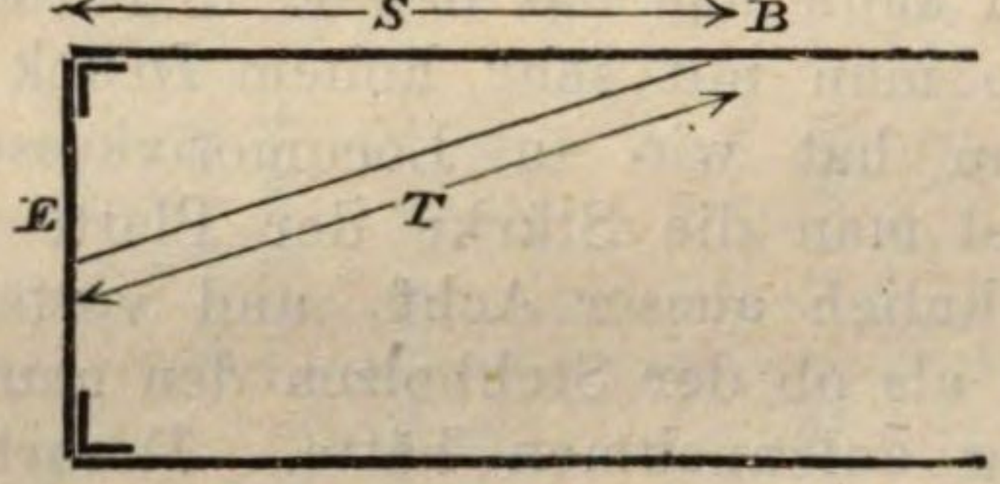
wenn A = Querschnitt des Bolzens, in Quadratmillimetern;
S = Theilung, oder Entfernung der Bolzen von einander in Millimeter;
P = Dampfdruck in Kilo pro Quadratcentimeter. Oder wenn der Durchmesser des Stehbolzens festgestellt ist, so findet man die Theilung S

$$S = \sqrt{\frac{300 \cdot A}{P}}.$$

Es ist gebräuchlich, den Durchmesser des Stehbolzens gleich der doppelten Blechdicke zu machen.

In Locomotiv- und ähnlichen Kesseln ordnet man die Stabeisenanker statt sie ganz durchgehen zu lassen, zuweilen in diagonaler Richtung an, um die Kessel zugänglicher zu machen. Diese diagonalen Ankerbolzen sollten nie an inneren Feuerrohren oder Feuerrosten, sondern stets am äusseren Mantel befestigt werden, weil dieselben sonst leicht die freie Ausdehnung der erhitzten inneren Theile beeinträchtigen. Die resultirende Spannung in diesen diagonalen Ankern, siehe Fig. 16, ist grösser als in

Fig. 16.



Ankern senkrecht zur Platte. Der Zug, welcher auf dieselben wirkt, drückt sich aus durch:

$$D = \frac{P}{\cos a},$$

wenn D der Zug auf den diagonalen Anker, P der Druck gegen die Endplatte und a der kleinste Winkel ist, den der Anker mit der Druckrichtung bildet.

Zeichnet man wie in Fig. 16, S, die Entfernung zwischen der ebenen Platte und dem Endpunkte des Ankers gleich dem Druck gegen die ebene Fläche, oder den Theil derselben, der durch den Anker unterstützt werden soll, so stellt die Mittellinie D des Ankers den im Anker wirkenden Zug, gemessen in derselben Einheit wie S dar.

Sir W. Fairbairn hat einige Experimente mit eisernen und kupfernen Stehbolzen in eisernen und kupfernen Platten befestigt ähnlich wie in Locomotivfeuerkisten ausgeführt.

1. Ein eiserner Stehbolzen von 19 mm Durchmesser, an beiden Enden zum Gewindeschneiden verstärkt und in eine eiserne Platte von 9,5 mm Dicke eingeschraubt und umgenietet, zerriss im Schaft bei 12725 Kilo Belastung, das Gewinde und die Blechplatte blieben unbeschädigt.

2. Ein ähnlicher Stehbolzen in eine kupferne Platte verschraubt und vernietet, bei einer Belastung von 10893 Kilo sprang der Kopf ab, das Gewinde in der Kupferplatte wurde abgeschoren und der Bolzen herausgerissen.

3. Ein eiserner Stehbolzen von 19 mm Durchmesser in eine kupferne Platte von 9,5 mm eingeschraubt, aber nicht vernietet, wurde bei 8246 Kilo aus der Kupferplatte herausgerissen.

4. Ein kupferner Stehbolzen von 19 mm Durchmesser mit für das Gewinde verstärkten Enden wurde in eine 9,5 mm starke Kupferplatte geschraubt und darin vernietet. Derselbe zerriss im Schaft bei einer Belastung von 7330 Kilo, nachdem er sich 14 mm gestreckt hatte.

Obige Resultate lassen sich wie folgt zusammenstellen:

Stehbolzen 19 mm Durchmesser Blechplatte 9,5 mm dick	Bruchbelastung in Kilogrammen	Vertheilt über eine Fläche von 100 qcm giebt Kilo pro Quadratcentimeter	Vertheilt über eine Fläche von 150 qcm giebt Kilo pro Quadratcentimeter
No. 1. Eisen in Eisen, geschraubt u. vernietet	12725	127,25	84,8
No. 2. Eisen in Kupfer, geschraubt u. vernietet	10893	108,93	72,6
No. 3. Eisen in Kupfer, geschraubt aber nicht vernietet	8246	82,46	55,0
No. 4. Kupfer in Kupfer, geschraubt u. vernietet	7330	73,3	48,9

Das erste dieser Experimente beweist, dass für einen Bolzen von 19 mm Durchmesser eine Schraubenlänge von 9,5 mm verstärkt durch einen umgenieteten Kopf vollständig so stark ist als der Bolzen selbst. Vergleicht man die Resultate des zweiten und vierten Versuchs, so zeigt sich, dass ein eiserner Stehbolzen 50 Proc. stärker ist als ein kupferner, beide in Kupferplatte verschraubt.

Die Methoden der Locomotivfeuerkästen-Verankerungen wurden ferner von derselben Autorität untersucht. Es wurden zwei Feuerbüchsen angefertigt, jede 560 mm quadratisch mit 10 mm Wasserraum zwischen einer 9,5 mm starken Eisen- und einer 12,7 mm starken Kupferplatte. In beide wurden eiserne Stehbolzen von 20,6 mm Durchmesser, an den Enden zum Gewindeschneiden verstärkt, eingeschraubt und vernietet. In der ersten Feuerbüchse wurden die Stehbolzen zu 127 mm

Theilung angeordnet. Bei Anwendung von hydraulischem Druck begannen die Bleche bei 32 Kilo pro Quadratcentimeter zwischen den Stehbolzen an zu laufen. Bei 57,29 Kilo wurde die Construction zerstört, indem der mittlere Stehbolzen durch die Kupferplatte gezogen wurde. In der zweiten Feuerbüchse waren die Stehbolzen in 100 mm Entfernung gestellt. Die Ausbauchung begann bei 36,2 Kilo pro Quadratcentimeter, und verstärkte sich bis zu 70 Kilo. Von hier bis zu 91 Kilo war eine weitere Ausbauchung nicht zu bemerken, begann jedoch bei diesem Druck wieder und vergrösserte sich bis zu 112,5 Kilo, wo dieselbe 8,8 mm betrug. Bei 114,6 Kilo wurde ein Stehbolzen durch die eiserne 9,5 mm dicke Blechplatte gerissen, und der Versuch war dadurch beendet.

In diesem letzten Experimente zeigte sich die eiserne Platte als die schwächere, während die Stehbolzen unbeschädigt blieben. Die grösste Inanspruchnahme für die Stehbolzen betrug für die von 100 mm Entfernung ungefähr 11500 Kilo und für die von 127 mm Entfernung ungefähr 9200 Kilo. Die Bruchbelastung würde etwa für die Stehbolzen 16000 Kilo betragen.

Vergleicht man diese Resultate mit dem ersten der vorigen Reihe auf S. 129, so zeigt sich, dass das Gewinde in diesem Experimente in der eisernen Platte etwa 14 Proc. schwächer ist als in dem vorigen. Da diese Verhältnisse denen der Praxis näher sind als die vorigen, so können dieselben auch eher als maassgebend angesehen werden. In diesem Versuche mag die geringere Festigkeit durch das Ausbauchen des Bleches verursacht sein, weil dadurch das Blech gewissermaassen ringsherum vom Stehbolzen weggezogen wird, besonders an der Innenseite, wodurch die Haltbarkeit des Gewindes bedeutend verringert wird. Mit einer ähnlichen Feuerbüchse, in der die Stehbolzen in 240 bis 250 mm Entfernung gestellt werden, wird die Ausbauchung wahrscheinlich so bedeutend sein, dass die mittleren Bolzen durch die Löcher gezogen werden könnten, selbst ohne das Gewinde abzuscheeren.

Was auch immer der Werth obiger Experimente sein mag, dieselben zeigen, dass für ähnliche Ausführungen der Bolzen schwächer ist als das Blech und dass die gewöhnlichen Dimensionen, welche beim Verbolzen der Locomotivfeuerbüchsen benutzt werden, eine ganz bedeutende Sicherheit gewähren, jedoch geben dieselben nicht ausreichende Resultate, aus denen sich allgemeingiltige Formeln ableiten lassen würden.

Dieselben geben keine Auskunft über das schliessliche Verhalten der Platten, falls die Bolzen durch Unterlagscheiben und Muttern besser gesichert sein sollten. Wir müssen uns dann schon begnügen, unsere Stehbolzenverstärkungen nach den auf Seite 127 abgeleiteten Formeln zu entwerfen, und die Theorie festhalten, dass die Festigkeit ebener durch Stehbolzen verstärkter Flächen proportional ist dem Quadrat der Blechdicke, und umgekehrt dem Quadrat der Entfernung der Bolzen; demnach wäre:

$$P\,S^2 = 2\,\delta^2\,K,$$

wenn P Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, S Entfernung der Stehbolzen von Mitte zu Mitte, δ Blechdicke und K Bruchbelastung, welche wir hier für gute Bleche zu 3600 Kilo pro Quadratcentimeter annehmen, und unsere Tabelle auf sechsfache Sicherheit, d. h. zu 600 Kilo Belastung, berechnen wollen.

Sind die Blechdicke und der Dampfdruck bekannt, so ist

$$S = \sqrt{\frac{2\,\delta^2\,K}{P}}.$$

In umstehender Tabelle ist, wie bereits erwähnt, als zulässige Materialbelastung für das Blech 600 Kilo pro Quadratcentimeter gewählt; für die angegebenen Stehbolzendurchmesser übersteigt die Beanspruchung in keinem Falle 350 Kilo pro Quadratcentimeter; natürlich gelten die Durchmesser als innere resp. kleinere Schraubendurchmesser, und sind die Stehbolzen für die Gewinde an den Enden zu verstärken.

Da in der Tabelle die Flächen von den Mittelpunkten der Stehbolzen berechnet sind, dieselben jedoch an dem Umfange desselben durch das Gewinde und den Kopf gehalten werden, so geben die in der Tabelle enthaltenen Werthe noch einen höheren Sicherheitscoëfficienten als 6, und man könnte die Bolzen in Folge dessen in noch grössere Entfernungen setzen, jedoch ist dies nicht anzurathen, weil die Köpfe und Gewinde nicht zuverlässig genug sind. Wo Verschraubung mit Muttern angewandt, oder die Köpfe sehr vorsichtig und von hinreichender Höhe umgenietet werden, darf man es wohl thun, muss dann aber die Bolzendurchmesser verhältnissmässig vergrössern. Wie jedoch schon früher bemerkt ist es nicht rathsam zu grosse Bolzendurchmesser für diese Blechdicken anzuwenden und die obigen Dimensionen

Tabelle für die Entfernung von Stehbolzen für gegebenen Druck und gegebene Blechstärken.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter	Entfernung der Stehbolzen von Mitte zu Mitte			
	Blechdicke 10 mm	Blechdicke 11 mm	Blechdicke 12 mm	Blechdicke 13 mm
2	245	269	294	318
2,5	220	241	263	285
3	200	220	240	260
3,5	185	204	222	241
4	173	191	208	225
4,5	163	180	196	212
5	155	170	186	201
5,5	148	163	177	192
6	142	156	170	184
6,5	136	150	164	177
7	131	144	158	170
7,5	127	139	152	164
8	123	135	147	159
8,5	119	131	143	154
9	115	127	139	150
9,5	112	123	135	146
10	110	120	131	142
10,5	107	117,5	128	139
11	104	115	125	136
11,5	102	112,5	122	133
12	100	110	120	130
Durchm. des Stehbolzens	22,5 mm,	24 mm,	26 mm,	28 mm,

sind deshalb als vortheilhaft anzurathen. Schon auf Seite 127 wurde eine Formel gegeben, nach welcher die Entfernung der Stehbolzen für gegebenen Durchmesser und Druck zu berechnen ist,

$$S = \sqrt{\frac{300\ A}{P}}.$$

Wenn S Entfernung der Bolzen in Centimeter, A Querschnitt derselben in Quadratcentimeter und P Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, unter der Voraussetzung, dass der Bolzendurchmesser gleich der doppelten Blechstärke ist.

Es mag hier noch erwähnt werden, dass für Locomotivverankerungen, besonders wenn innere Kupferplatten angewendet werden, die Entfernung der Stehbolzen selten nach Dampfdruck und Blechdicke berechnet wird, sondern man hält in diesem Falle gern an 100 Millimeter Entfernung fest. Der Grund hierfür liegt darin, dass Kupfer, wie schon im II. Capitel gezeigt wurde, bei hoher Temperatur ein durchaus nicht so zuverlässiges Material ist, und besonders bei schlechtem Wasser ist ein Ueberhitzen der Bleche im Feuer leicht möglich.

Die oben erwähnten Experimente von Fairbairn wurden bei gewöhnlicher Temperatur ausgeführt, und können deshalb über diesen Punkt keine Auskunft ertheilen. In der im Abschnitt über Kupfer Seite 39 gegebenen Tabelle finden wir, dass schon bei 290° die Festigkeit des Kupfers um 25 Proc. reducirt ist. Bei sehr schlechtem Wasser kann unter Umständen die Temperatur der Platte bedeutend höher als dies steigen, und mag dadurch der Umstand erklärt sein, dass Kupferplatten von 10 bis 12 mm Dicke, in Entfernung von 100 mm verbolzt und nur bei Druck von 8 bis 10 Kilo benutzt, schon nach wenigen Jahren untauglich werden. Diese Platten zeigen oft die eigenthümlichsten Risse, zuweilen findet man einen langen geraden Riss zwischen zwei Stehbolzenreihen, und in anderen Fällen, besonders bei grösserer Entfernung der Bolzen, bis zu 150 mm zerbricht die ausgebauchte Platte zuerst auf der höchsten Stelle, und reisst dann weiter in diagonaler Richtung. Häufig wird die Feuerkastendecke zuerst untauglich, was sich wohl durch den dort stets abgelagerten Kesselstein erklären lässt. Wo das Wasser sehr schlecht ist und man den Wasserraum nicht angemessen gross gemacht hat, findet leicht ein Ueberhitzen der Seitenbleche statt.

Die flachen Decken von Locomotiv- und Locomobilfeuerbüchsen werden meist nicht direct mit der Aussenwand verankert, wie die Seiten derselben, sondern durch Stehbolzen verstärkt, welche von über der Decke gelagerten Trägern gehalten werden. Diese Träger, Deckbarren genannt, werden sorgfältig auf die aufrechten End- oder Seitenbleche des Feuerkastens aufgepasst, so dass dieselben nicht auf der Feuerkastendecke lagern, wodurch sonst die Vernietung leiden würde. Wenn die Länge der Feuerkästen nicht zu bedeutend ist, so thut man am besten, dieselben auf der Front und Rohrwand zu lagern, bei sehr langen Feuerkästen wird der Druck jedoch so bedeutend, dass die inneren häufig kupfernen Wände zerdrückt werden würden, und muss man in dem Falle die Träger auf den Seiten unterstützen. Man fertigt diese entweder solide aus einem Stück geschmiedet, mit Verstärkungen für die Bolzenlöcher, oder aus zwei in der Entfernung der Bolzendicke verbundenen Blechplatten an, letztere werden dann durch einige Niete, und an den Enden, wo sie aufliegen, durch ein zwischengelegtes und vernietetes Eisenstück verbunden, wodurch die Auflagefläche vergrössert wird. Um zum Reinigen und für die Circulation des Wassers hinreichend Raum zu geben, müssen die Träger circa 40 mm bis 50 mm über der Decke frei liegen. Damit man nun aber die Stehbolzen fest anziehen kann, ohne die Deckplatte zu verziehen, und auch gleichzeitig um eine solidere Verbindung des Ganzen herzustellen, bringt man zwischen dem Träger und der Deckplatte Entfernungsstücke an. Eine andere Anordnung ist die, an dem geschmiedeten Träger diese Entfernungsstücke anzubringen und die Bolzen von der inneren Seite durch das Blech in dieselben hineinzuschrauben. Um die Bolzen dicht zu erhalten müssen sie stets in die Deckplatte eingeschraubt, und an der inneren Seite durch Muttern verschraubt werden *). In dieser Anordnung bildet das Ganze einen Träger, dessen unterer Flantsch durch die Deckplatte gebildet wird, die Mittelrippe dieses Trägers ist jedoch nur an den Enden unter-

*) Wo dies versäumt ist und man später in dem im Betriebe befindlichen Kessel ein Lecken der Deckbolzen bemerkt, leisten unter die Mutter gelegte dünne kupferne Unterlagscheiben, oder noch besser dünne, enge geschnittene und straff aufgeschraubte Kupfermuttern gute Dienste, hierüber müssen natürlich die gewöhnlichen Muttern geschraubt werden.

stützt. Wegen Mangel an Experimental-Resultaten, aus denen sich eine allgemeingiltige Regel für diese Construction ableiten liesse, müssen wir uns mit der Berechnung der Stärke des Trägers selbst begnügen, und können in Folge der durch die Platte selbst erzielten Stärke einen kleineren Sicherheitscoëfficienten wählen. Der Träger kann dann als ein gleichmässig belasteter, an beiden Enden unterstützter Balken betrachtet werden, und wir können seine Tragkraft nach der gewöhnlichen Formel berechnen:

$$\frac{W \,.\, l}{8} = \frac{b\, h^2}{6}\, K.$$

Wenn W die gleichmässig vertheilte Last, erhalten aus Druck pro Flächeneinheit mal Länge l und mal Entfernung zweier paralleler Träger S.

l Länge des Trägers in Centimeter
b Dicke " " " "
h Höhe " " " "
K Bruchbelastung = 3600 Kilo pro Quadratcentimeter.

In den meisten Fällen handelt es sich darum, die Dimensionen, d. h. Dicke und Höhe des Trägers, zu berechnen. Man wählt als Verhältniss zwischen beiden gewöhnlich von 3 bis 5, ein brauchbarer Mittelwerth ist 4, d. h. die Höhe ist viermal der Dicke zu wählen. Nimmt man nun aus oben angeführtem Grunde den Sicherheitscoëfficienten zu 3 an, so ist

$$h = \sqrt[3]{\frac{W\, l}{400}} \text{ und da } W = P \,.\, S \,.\, l$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{P\, S\, l^2}{400}}, \text{ wenn } b : h = 1 : 4.$$

Für Träger von bedeutender Länge thut man besser, das Verhältniss von Dicke zur Höhe wie 1 : 5 zu wählen und hat dann natürlich die Formel zu ändern:

$$h = \sqrt[3]{\frac{P \,.\, S\, l^2}{320}}, \text{ wenn } b : h = 1 : 5.$$

Da sich schmiedeeiserne Stäbe und Träger, wenn auf relative oder Biegungsfestigkeit in Anspruch genommen, ganz bedeutend durchbiegen, ehe dieselben brechen, so muss die nutzbare Stärke schmiedeeiserner Verankerungen nach der grössten zu erlaubenden Deflection berechnet werden. Man hat gefunden, dass bei Stäben, deren Höhe nicht geringer ist

als $^1/_{10}$ der Länge, die Deflection für eine Belastung unter der Elasticitätsgrenze, ungefähr $^1/_3$ der Bruchbelastung, nur unbedeutend ist, und wenn man Träger nach diesen Verhältnissen construirt, so sind dieselben ausreichend stark gegen Biegung.

Hat man festgestellt, dass ein Träger von bestimmten Dimensionen unter einem grösseren Druck hinreichende Festigkeit besitzt, so ist es zuweilen wünschenswerth zu wissen, wie dieselbe durch veränderten Druck oder veränderte Dimensionen beeinflusst wurde. Die Formel für die Steifigkeit eines Trägers lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$\frac{l^3\, W}{\delta\, b\, h^3} = C,$$

wenn l Länge des Trägers, b Breite oder Dicke und h Höhe desselben, W die Belastung, δ die Durchbiegung und C eine Constante. Es ergiebt sich aus obiger Formel, dass die Durchbiegung, welche ein Träger erleidet, direct proportional der Belastung und der dritten Potenz der Länge und umgekehrt proportional der Dicke und dritten Potenz der Höhe desselben ist. Oder in anderen Worten, vergrössert man die Länge, so muss bei gleichbleibender Breite die Höhe in demselben Verhältniss vergrössert werden, und bei gleichbleibender Höhe der Träger bleibt die Steifigkeit dieselbe, wenn man die Dicke in der dritten Potenz der Länge vergrössert.

Die oben besprochene Verankerungsmethode für Feuerkastendecken besitzt den Nachtheil, halb die Gesammtbelastung auf einige wenige Stellen der beiden Endplatten zu concentriren. In sehr langen Feuerkasten ist die Belastung jedes Trägers oft so bedeutend, dass die Kupferplatten darunter zerdrückt werden würden. Um nun diesem Uebelstande vorzubeugen, und gleichzeitig eine zu bedeutende Höhe der Träger zu vermeiden, ordnet man dieselben manchmal so an, dass sie die Last auf die Seitenplatten des Feuerkastens übertragen. Mag man nun die eine oder die andere Anordnung treffen, stets ist besonders darauf zu achten, die Träger von hinlänglicher Länge zu machen und so anzupassen, dass dieselben nicht auf der Feuerkastendecke, sondern nur auf den Seiten- oder Endplatten aufliegen. Wenn hierauf nicht sorgfältig gehalten wird, so kommt es vor, dass die Decke in gewissen Punkten unverhältnissmässig belastet wird, wodurch leicht leckende Nietnähte und andere Uebel entstehen.

Besonders in grossen Feuerkasten findet man oft einige der Mittelträger durch Zugstangen mit einem an der äusseren

Feuerkastendecke angenieteten Winkel oder T-Eisen verbunden, um einen Theil der Belastung von dem unteren Feuerkastenring auf die äussere Decke zu übertragen.

Eine andere nicht selten angewendete Methode ist die, die Träger quer durch die ganzen äusseren Feuerkasten zu legen und mit den äusseren Blechen zu verbinden, welche man für diesen Zweck hinreichend hoch zu verlängern hat. In diesem Falle hat man dieselben ebenfalls als einfache Träger an beiden Enden befestigt, zu berechnen.

Zuweilen findet man lange Blechstreifen mit Hilfe von Winkeleisen an die äussere Feuerkastendecke der Länge nach befestigt. An diese Blechstreifen nietet man unten an jede Seite ein Winkeleisen und hängt die innere Feuerkastendecke mit Hilfe von Stehbolzen an die freien Schenkel der Winkeleisen. Viele dieser Trägeranordnungen beeinträchtigen das Reinigen und Auswaschen der Feuerkasten, wodurch eine sehr schnelle Zerstörung derselben begünstigt wird. Um nun diese Uebelstände zu beseitigen und gleichzeitig die schweren und unbehilflichen Träger im Inneren des Feuerkastens los zu werden, wendet man mehr und mehr die Methode an, die beiden Feuerkastendecken mit Hilfe von gewöhnlichen Stehbolzen gegen einander abzusteifen. In einigen Fällen macht man dann die äussere Decke flach *), wodurch eine einfache Befestigung der Bolzen möglich wird, und wenn beide Decken eine gleichgrosse ebene Fläche haben, so befindet sich diese Anordnung im Gleichgewicht. Es ist jedoch hierbei nöthig, den Uebergang aus den flachen Seitenwänden in die flachen Decken durch Viertelkreise herzustellen, und die flachen Seitenwände des äusseren Feuerkastens, welche über der inneren Decke heraufragen, durch eine Reihe von Seite zu Seite gehender Horizontalanker, am besten mit Hilfe von Winkel- oder T-Eisenstücken, zu verbinden. In ähnlicher Weise sind auch die halbrunden und die halbrundgewölbten äusseren Decken mit einem flachen Theil **) für die verticalen Stehbolzen zu behandeln. In beiden Constructionen ist es unbedingt nöthig, die gekrümmten Seiten, in welchen durch den Zug in den verticalen Stehbolzen das Gleichgewicht gestört ist, durch aufgenietete Winkel- oder T-Eisen zu verstärken und diese zwischen den gegenüberliegenden Wänden

---

*) Feuerkasten von Nelpaire.
**) Becker'sche Feuerkasten.

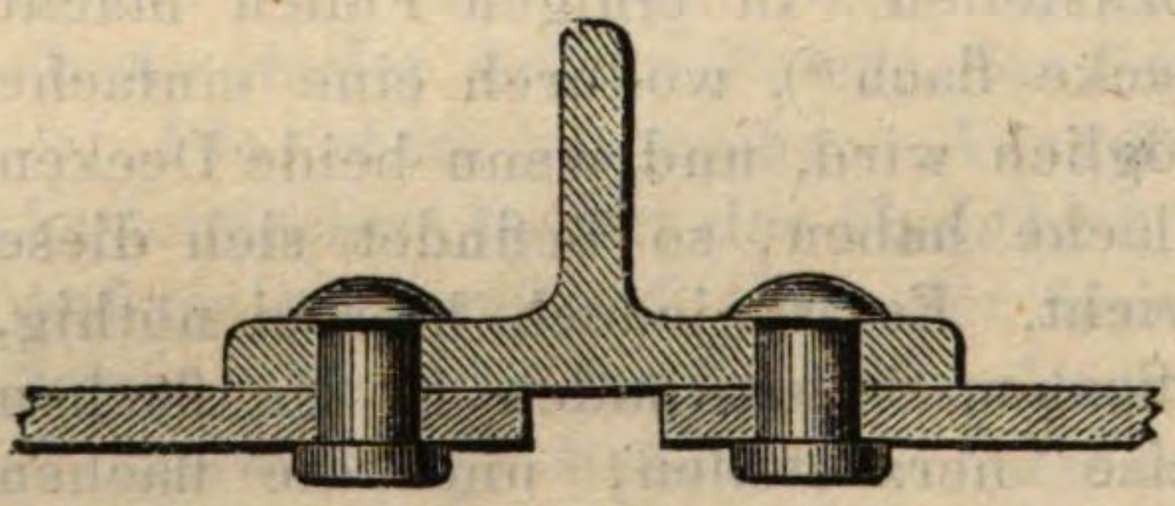
durch Horizontalanker zu verbinden. Dass einige Feuerkasten dieser und ähnlicher Constructionen ohne Horizontalanker bestehen, kann nur durch die ausserordentlich dicken, für die Decken verwendeten Bleche und die grosse Steifigkeit, die eine derartig gebogene Platte besitzt, erklärt werden *).

Die Erhaltung der cylindrischen Form ist, wie schon im II. Capitel besprochen, für Rohre mit äusserem Druck von grosser Wichtigkeit, und die besten Firmen schweissen deshalb ihre Rohre in der Längsnaht, wenn aus Eisen angefertigt, oder aber bei Anwendung von Stahl oder solchen Eisens, dessen Schweissbarkeit nicht gänzlich zuverlässig ist, werden diese Längsnähte durch eine aussen aufgelegte Lasche verbunden, die dann stets unter die Wasserlinie zu legen ist. In dem Falle, wo im Inneren dieser Rohre der Rost befindlich ist, müssen diese Nähte stets unter den Rost gelegt werden.

Die gebräuchlichste Manier, längere Rohre zu verstärken besteht darin, dieselben in den Ringnähten durch besondere Vorkehrungen zu versteifen, und wendet man dazu an, T-Eisenringe, Adamson's Ringnaht, oder die gerollten Ringe in Ω-Form.

Bei Anwendung der ersten Methode, Fig. 17, welche dem Rohre eine grosse, zu Zeiten zu grosse Steifigkeit verleiht, sollten die mit dem Blech vernieteten Flantschen nicht dicker sein als die Blechdicke, jedoch kann man in Fällen, wo grosse Festigkeit nöthig ist, den anderen Flantsch nach Belieben verstärken. In den meisten Fällen werden T-Eisen von 10 mm Dicke vollständig ausreichend sein. Häufig findet man bei Anwendung dieser Construction die beiden Rohrenden dicht aneinanderstossend, was doppelt falsch ist, und häufig zu sehr unangenehmen und gefährlichen Unfällen Veranlassung giebt. Erstens bekommt das Rohr hierdurch eine zu grosse Steifigkeit, wodurch sich im Laufe der Zeit an den Kanten des T-Eisens das Blech in Furchen biegt und endlich bricht, und zweitens lässt sich bei einer solchen Anordnung ein noch so

Fig. 17.

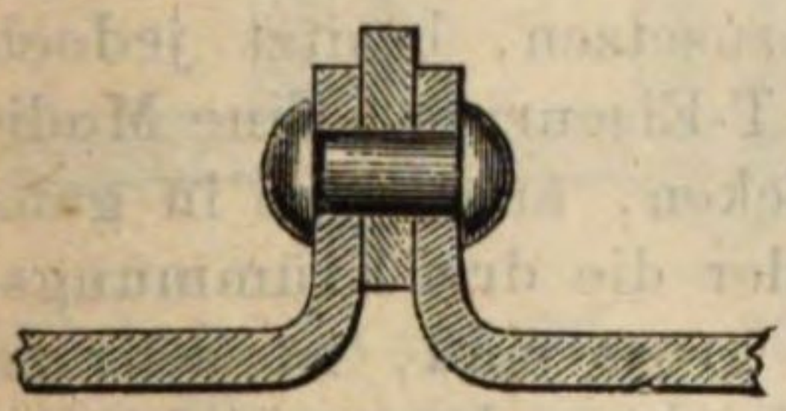


*) Eine sehr ausführliche Abhandlung über diesen Gegenstand siehe: A. v. Borries, Verankerung von Locomotivfeuerkasten, in „Organ für Eisenbahnwesen“ Heft IV, 1876.

geringes Leck in der Naht nicht verstemmen. Von innen ist es durch die dicht aneinanderstossenden Rohrenden unmöglich gemacht und aussen ist selten um das ganze Rohr herum Raum dazu. So kommt es denn, dass ein geringeres Leck unberücksichtigt bleibt und das Rohr schliesslich durch ein neues ersetzt werden muss. Lässt man zwischen den Rohrenden einen freien Raum von wenigstens 25 bis 30 mm, so kann ein Leck zu jeder Zeit von innen leicht gestemmt werden, und die Naht wird nicht so leicht überhitzt werden, als wenn dieselbe ohne Unterbrechung von der doppelten Dicke ist. Diese Art der Ringnaht verlangt sehr gute Arbeit, beide Ringe müssen von genau gleichem Durchmesser sein, sonst wird es später schwer, die Naht gut zu dichten.

Eine bessere Methode ist die in Fig. 18 gezeigte, der sogenannte Adamson'sche Ring, der schon seit Jahren mit bestem Erfolge angewandt worden ist.

Fig. 18.

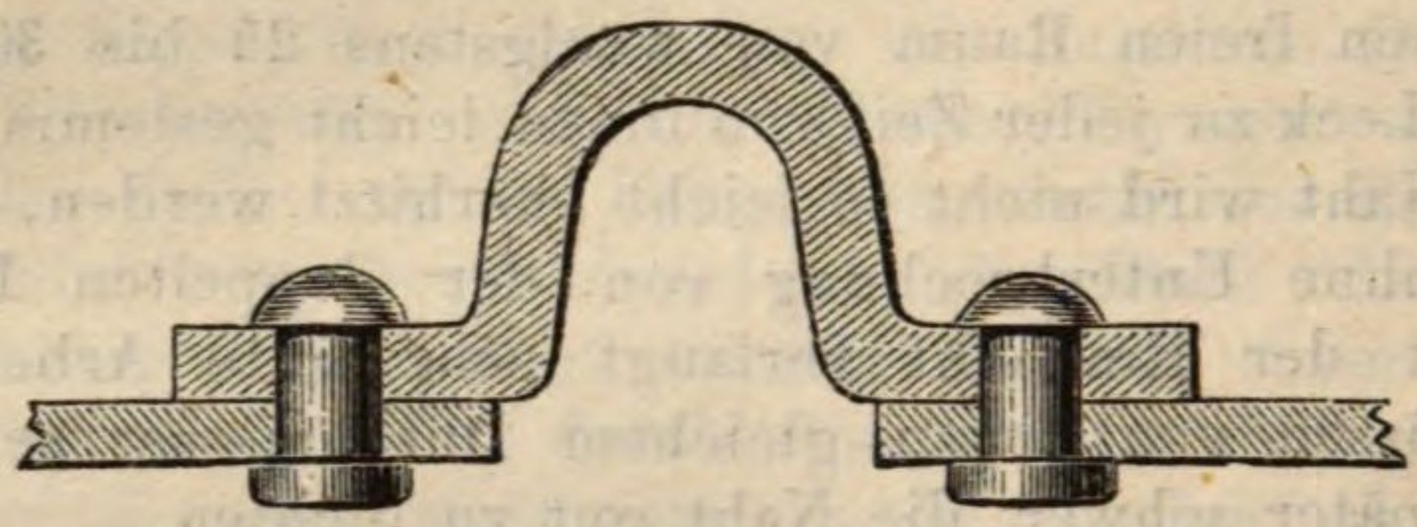


Allerdings ist es für diese Verbindung nothwendig, gutes Blech für die Rohre zu verwenden, weil die Bleche sonst leicht beim Flantschen reissen oder gefährlich verdünnt werden könnten, jedoch ist gutes Material schon aus anderen Gründen sehr zu wünschen. Viele Kesselfabriken wenden zum Flantschen besondere Maschinen an, wodurch die Arbeit schneller, billiger und mit weniger Gefahr für das Material ausgeführt wird. Bei Verwendung von Stahl ist Maschinenflantschen unumgänglich. Der zwischen die beiden Flantschen eingelegte Ring dient vorzugsweise zum Verstemmen. Derselbe sollte innen nicht weiter reichen als bis an die Biegung des Flantsches und aussen etwa 5 bis 10 mm vorstehen und nicht unter 10 mm stark sein. Beim Flantschen ist darauf zu achten, dass der Biegungsradius nicht zu klein, nicht unter 20 mm ausfalle, weil sonst durch die abwechselnde Ausdehnung und Contraction ein Furchen eintreten würde. Ein Umstand, der diese Verbindung besonders für die über oder nahe dem Roste liegenden Nähte tauglich macht, ist der, dass die ganze Nietnaht sowohl als auch die Nietköpfe völlig ausserhalb des Feuers und ganz von Wasser umspült liegen. Wenn gut ausgeführt kommt es selten vor, dass diese Verbindung leckt, jedoch lassen sich Reparaturen oder selbst Stemmen von aussen schwer ausführen, weil der

an sich sehr enge Raum um das Rohr herum noch durch den Flantsch verengt ist.

Der Ω-förmige sogenannte „Bowling"- Ring, Fig. 19, ist eine verhältnissmässig neue Construction. Derselbe wird ent-

Fig. 19.



weder aus Eisen oder Stahl angefertigt; mit dem T-Eisen hat er den Nachtheil gemein, die Naht selbst sowohl als die doppelte Blechdicke dem Feuer auszusetzen, besitzt jedoch bedeutend grössere Elasticität als der T-Eisenring. Eine Modification dieser Form ohne scharfe Ecken, aus Blech in ganz gleichmässiger Stärke angefertigt, in der die drei Krümmungsradien gleich und verhältnissmässig gross sind, ist sehr zu empfehlen. Diese Form lässt sich leicht walzen und besitzt grössere Elasticität. Für leichte unbehinderte Ausdehnung ist dies ohne Zweifel die empfehlenswertheste Construction. Eine andere jedoch selten angewandte Methode die Ringnähte zu verstärken ist die, die Ringe von verschiedenem Durchmesser herzustellen und das Ende des kleineren Rohres in ⅂-Form auszuflantschen und den grösseren Cylinder damit zu verbinden. Durch diese Verbindung erzielt man ebenfalls eine sehr bedeutende Steifigkeit des Rohres. Es ist ferner vorgeschlagen zur Erzielung einer grösseren Festigkeit die Rohre aus gewellten Blechen herzustellen, und die Wellen in der Peripherie anzuordnen.

In vielen Kesselfabriken zweiten Ranges, oder auch wo man sich über die Sache nicht recht klar ist, werden häufig geschweisste T-Eisenringe oder auch Winkeleisenringe, Fig. 20 und 21, über die Rohre gezogen und mit diesen vernietet. Diese Ringe dürfen nun niemals direct auf das Rohr genietet werden, erstens verstärkt man die Metalldicke, wodurch leicht die innere Platte verbrannt wird, und ferner hindern diese im Wasser liegenden Ringe die freie Ausdehnung des Rohres. Es müssen desshalb stets kurze dünne und am besten an der

Seite offene Ringe zwischen dem Winkeleisen und dem Rohre angebracht werden, und da dieselben keinen anderen Zweck zu erfüllen haben, als zwischen Rohr und Verstärkungsring einen Raum von nicht weniger als 25 mm einzuhalten, so können dieselben sehr leicht hergestellt werden. Die Theilung der Nieten betrage nicht über 140 mm. Es ist ganz unnöthig für diesen Zweck T-Eisen zu verwenden. Die bedeutende Stärke desselben ist nicht nothwendig, und die grössere Anzahl von Entfernungsringen ist auch durchaus nicht günstig.

Fig. 20.

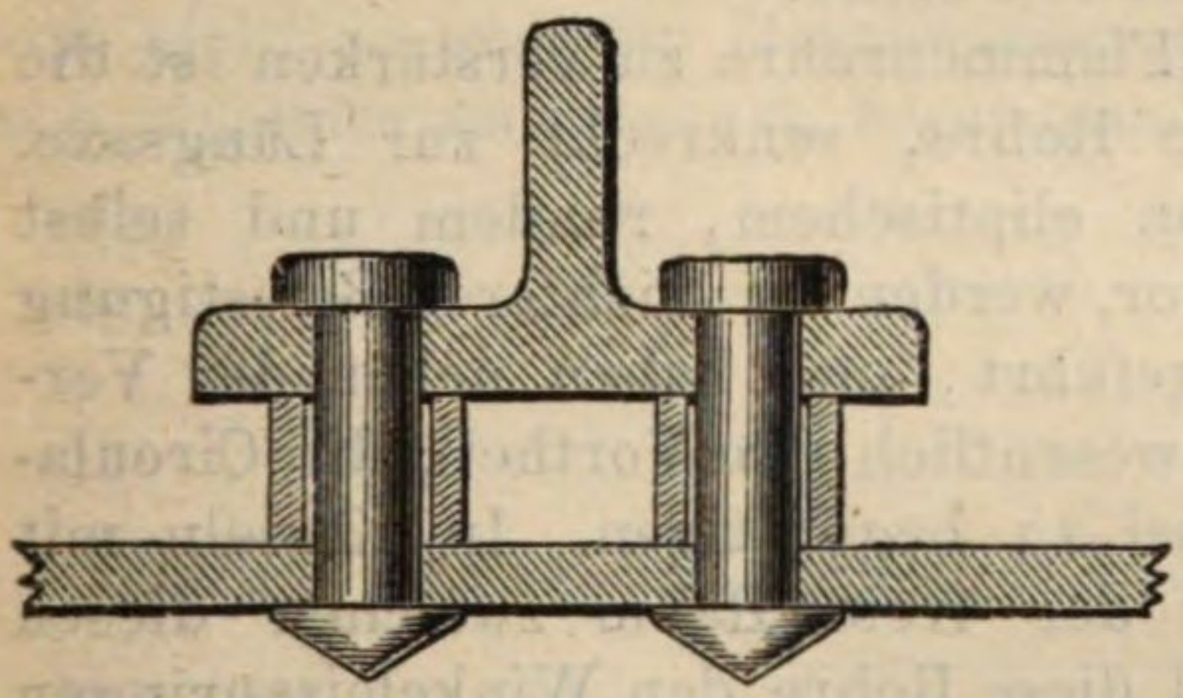
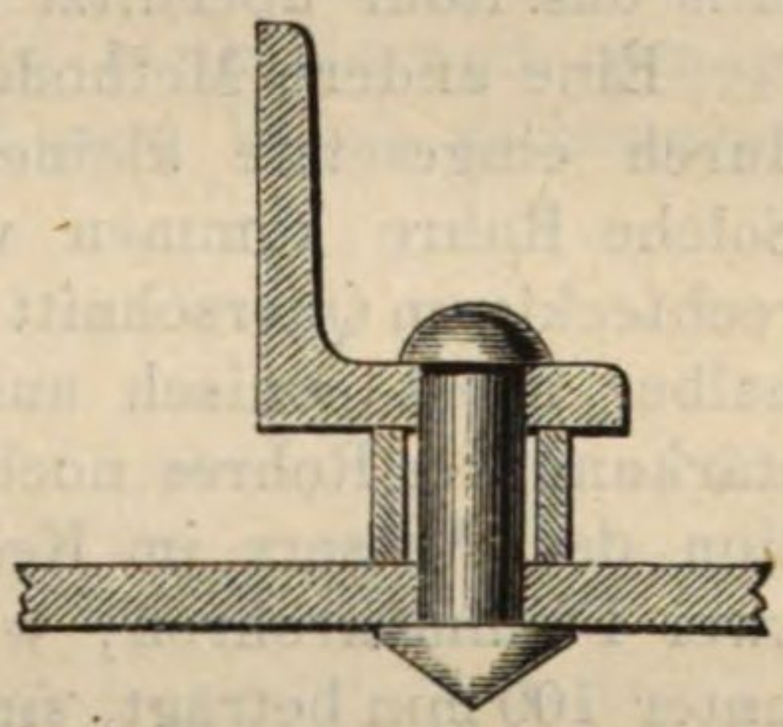


Fig. 21.



Winkeleisen von 75 × 65 × 10 mm, wie in Fig. 21 angeordnet, ist vollkommen ausreichend. Es kommt häufig vor, dass es nöthig wird, Verstärkungsringe an Flammenrohren bereits im Betriebe befindlicher Kessel anzubringen. In allen solchen Fällen ist die Benutzung von Winkeleisenringen zu empfehlen, und um dieselben durch das Mannloch bringen zu können, müssen sie in zwei Theilen angefertigt werden. Beim Zusammensetzen ist darauf zu achten, dass die Enden gut aneinander passen und durch doppelte Laschenverbindung mit wenigstens zwei Nieten auf jeder Seite vernietet werden. Dieselben werden mit dem Flammenrohre in der gewöhnlichen Weise durch Nieten und Hülsen verbunden. Die Nieten sollen nicht über 140 mm Theilung erhalten. In Kesseln mit zwei Rauch- oder Flammenrohren wird es zu Zeiten nöthig sein, den freien Schenkel des Winkeleisenringes wegen Mangel an Raum etwas abzuschneiden, derselbe muss stets in einiger Entfernung vom Kesselmantel und anliegenden Rohre bleiben, damit sich zwischen diesen Theilen kein Kesselsteinansatz bildet. Bei allen Verstärkungsringen in Kesseln mit zwei Flammenrohren achte man darauf, dieselben in der Längsrichtung wenigstens 100 mm, besser ist noch mehr auseinander zu stellen, dies gilt auch von Adamson's Ring.

Es ist unzweifelhaft, dass der Adamson-Ring die einzige Methode der Ringverbindung ist, welche sich für die über dem Feuer liegenden Ringnähte empfiehlt, und sollte derselbe in allen neuen Kesseln angewendet werden, ob es die Festigkeit des Flammenrohres nöthig macht oder nicht. Trotzdem der Winkeleisenring den Nachtheil hat, ein Ueberhitzen der Bleche zu begünstigen, sollte derselbe doch bei allen im Betriebe befindlichen Kesseln angebracht werden, wenn dieselben nicht anderweitig verstärkt sind, weil derselbe das Durchbiegen und Zerdrücken des Flammenrohres auf das Wirksamste verhütet, falls das Rohr überhitzt werden sollte.

Eine andere Methode Flammenrohre zu verstärken ist die durch eingesetzte kleinere Rohre, senkrecht zur Längsaxe. Solche Rohre kommen von eliptischem, rundem und selbst rechteckigem Querschnitt vor, werden der leichteren Befestigung halber meist conisch ausgeführt, und haben neben der Verstärkung des Rohres noch wesentlich den Vortheil, die Circulation des Wassers im Kessel zu begünstigen. In Kesseln mit zwei Flammenrohren, wo der freie Raum zwischen diesen unter 100 mm beträgt, sind diese Rohre den Winkeleisenringen vorzuziehen, weil in solchen Kesseln in Folge des geringen Raumes die Circulation eine ungünstige ist, und durch die Ringe noch verschlechtert wird. In bereits im Betriebe befindlichen Kesseln bringt man derartige Verstärkungs- und Circulationsrohre zuweilen in schräger Richtung an, d. h. gegen die Längsaxe des Flammenrohres geneigt, weil sich dieselben auf diese Art besser an Ort und Stelle bringen und vernieten lassen. Für neue Kessel sind die bekannten Gallowayrohre die besten, weil sie mit der grössten Leichtigkeit der Befestigung die beste Form für Circulation verbinden. Solche im Flammenrohre befestigten Rohre sollten stets in ihren Längsnähten geschweisst sein.

Benutzt man eine Anzahl dieser Rohre, so müssen dieselben theils vertical, theils geneigt, nie aber horizontal angeordnet werden, oder alle in einer Reihe stehen. Da man diese Rohre immer erst hinter der Feuerbrücke anwendet, so ist es nöthig, den ersten Ring durch andere, bereits besprochene Mittel zu verstärken. Für neue Kessel ist es zu empfehlen, die Rohre mit Hilfe von Flantschen an Stelle von Winkeleisenringen zu befestigen, letztere geben leichter Veranlassung zum Lecken, sind aber beim Ausbessern alter Kessel nicht immer zu umgehen. Manche Kesselfabrikanten schweissen

ihre Wassercirculationsrohre in das Flammenrohr ein, um Lecken zu vermeiden, jedenfalls ein guter Beweggrund, wird es jedoch nöthig, das Wasserrohr zu entfernen, so muss man zu grosse Löcher in das Flammenrohr schneiden.

Ein Umstand in der Anwendung dieser Wasserrohre wird häufig vernachlässigt, es ist dies die Berücksichtigung des Reinigens. In Flammenrohren von geringem Durchmesser besonders ist es oft gänzlich unmöglich, dass eine Person durch dasselbe kriechen und das Rohr vorsichtig reinigen kann, wodurch eine verminderte Verdampfungsfähigkeit des Kessels zur unabwendbaren Folge wird. Macht man die Rohre von nicht zu grossem Durchmesser und stellt sie weit genug von einander entfernt, so kann man diesem Uebel vorbeugen.

Siebentes Capitel.

Kesselarmaturen.

Der Abschnitt über Kesselarmaturen mag passender Weise durch einige Bemerkungen über die Art und Weise der Befestigung derselben eingeleitet werden, ein Gegenstand, der leider zu oft übersehen wird.

Vor Allem muss danach gestrebt werden, eine gute Dichtung herzustellen, die frei von Lecken und den damit verbundenen Uebeln ist. An den ebenen Endplatten und anderen geraden Flächen, die sich leicht zu einer für Verpackung passenden Stelle bearbeiten lassen, hat dies keine Schwierigkeit, und man kann das Armaturenstück direct gegen die ebene Fläche schrauben, und mit einem Dichtungsmaterial verpacken. In allen derartigen Fällen sind jedoch auch eine Reihe von Umständen zu berücksichtigen, die leider zu oft übersehen werden. Vor allen Dingen darf die Fläche durch den Dampfdruck ihre Form nicht ändern, der Flantsch muss von verhältnissmässiger Dicke und ausreichendem Durchmesser sein, die Bolzen dicht genug und hinreichend stark, um eine gute Dichtung herstellen zu können.

Selbst zugegeben, dass alle diese Umstände erwogen und richtig ermessen sind, so ziehe ich es doch vor, auch hier an den Kessel genietete, auf der Vorderseite geebnete Flantsche anzunieten, und den Armaturentheil mit Schrauben daran zu befestigen.

An allen gebogenen Flächen, wie der Kesselmantel, Dampfdom oder auch gewölbte Endflächen der Kessel, kann man, oder darf man wenigstens eine einfache Verpackung nicht anbringen, sondern muss stets einen Sitz in irgend welcher Weise für den Armaturentheil befestigen. In vielen Fällen kann man diese Sitze aus Gusseisen anfertigen, und thut dann gut, das Modell dem gebogenen Kesseltheil vorher anzupassen. Wenn man das Loch in dem Bleche nicht zu uneben ausgehauen hat, so kann man in den meisten Fällen einen derartigen Sitz von innen hinreichend verstemmen. Einige Firmen

ziehen es vor, zwischen den gusseisernen Sitz und den Kessel eine Kupferblechscheibe von etwa 3 mm Dicke einzulegen, jedoch ist dies bei einigermaassen guter Ausführung kaum nöthig. Bei den jetzt gebräuchlichen hohen Spannungen ist es oft nöthig, an Stelle der gusseisernen Sitze solche aus Schmiedeeisen, Messing oder Rothguss, oder aus schmiedebarem Guss anzuwenden; diese kann man denn auch von aussen durch Stemmen verdichten. Der nach aussen gerichtete Flantsch eines solchen Sitzes wird dann stets abgehobelt oder anderweitig bearbeitet, wodurch sich mit Leichtigkeit und Sicherheit eine gute Dichtung herstellen lässt.

Die Form derartiger Sitze richtet sich sehr nach Umständen und nach dem Geschmack; erwähnen möchte ich jedoch, den an den Kessel zu nietenden Flantsch hinreichend gross zu machen, weil sonst das Vernieten oft schwierig wird.

In Fällen, wo eine Verschraubung am Kessel von Mauerwerk überdeckt, oder anderweitig ausser Sicht ist, sind dergleichen Sitze doppelt nothwendig, und doch findet man sie selbst in solchen Fällen weggelassen, wegen der geringen Extrakosten. In den meisten Fällen wird eine Ersparniss hierdurch jedoch nicht erzielt, Dichtungen, die sich bei Anwendung eines Sitzes in wenigen Minuten machen lassen, erfordern Stunden, und sind selbst dann selten wirklich dicht; häufig würde man gut thun, den Dampfdom, der doch gewöhnlich keinen Werth hat, wegzulassen, und an Stelle desselben gute Sitze anzubringen.

Wo man die Armaturen ein- für allemal befestigt, hat es nicht die geringsten Schwierigkeiten, eine gute Dichtung herzustellen, anders ist es dagegen mit solchen Verschraubungen wie Mannlöchern, Reinigungsöffnungen und dergleichen, die öfter geöffnet werden müssen. Hier werden die Flächen mit der Zeit uneben und es lässt sich mit blosser Mennige keine dichte Verschraubung mehr herstellen. Man muss dann Hanf, Gummi, Kupferdraht, oder, was oft sehr gute Dienste leistet, ein Stück 10 bis 12 mm starkes Bleirohr, vorsichtig angeordnet, mit den Enden sich überdeckend, benutzen. Eine sehr gute Dichtung lässt sich dadurch herstellen, dass man in beide Flächen eine halbkreisrunde Nuthe von etwa 5 mm dreht, und in diese einen zusammengelötheten Kupferring einlegt, der hinreichend dick ist, um beim Dichten die beiden Flächen noch etwas von einander entfernt zu lassen.

Die Nuthen, welche hier die Dichtung abgeben, werden fast nie beschädigt, und ein neuer Kupferring ist leicht hergestellt.

Häufig werden die Flächen von Mannlöchern und anderen Verschraubungen durch eingetriebene Meissel und Keile, wenn dieselben festgebrannt sind, zerstört; dies lässt sich durch Anbringen von zwei Setzschrauben leicht umgehen. Schraubt man diese gegen die eine Fläche, so wird der Deckel langsam, aber unwiderstehlich losgepresst.

Kesselspeisevorrichtung.

Ueber Kesselspeisevorrichtungen sagt §. 3 des Kesselgesetzes für den Norddeutschen Bund: An jedem Dampfkessel muss ein Speiseventil angebracht sein, welches bei Abstellung der Speisevorrichtung durch den Druck des Kesselwassers geschlossen wird. — Diese Speiseventile sind in allen Fällen dicht am Kessel, natürlich an einen angenieteten Sitz geschraubt, anzubringen, damit dieselben jeder Zeit für Reparaturen leicht ausgewechselt werden können. Man wendet zwei Arten der Speiseventile an, mit Kugelventilen und conischen Ventilkegeln, erstere besonders bei Locomotiven und Schiffskesseln, letztere sind für stationäre Zwecke vorzuziehen. Das Ventilgehäuse kann besonders für die grösseren Durchmesser aus Gusseisen angefertigt werden, für die Ventilkegel und Sitze muss jedoch stets Rothguss angewendet werden. In der Construction dieser Speiseventile begegnet man häufig zwei Fehlern; der erste ist, dass man den Ventilkegeln zu viel Hub erlaubt, und der zweite, dass das nach dem Kessel führende Ausflussloch nicht hoch genug über den Ventilsitz gelegt ist, wodurch der Druck vom Kessel aus einseitig auf das Ventil wirkt, und dessen einseitige Abnutzung bewirkt, oder in den schlimmsten Fällen selbst das Schliessen des Ventils beeinträchtigt. Dem Ventile soll nie mehr als 6 mm Hub gegeben werden; dem am Ventilkegel befindlichen Kopf gebe man stets ein Drittel des Ventilquerschnitts, und mache natürlich den den Schlag aufnehmenden Theil des Deckels ebensogross; hierdurch verhindert man das Schlagen des Ventils vollkommen, und arbeiten dieselben selbst bei hoher Geschwindigkeit des Wassers im Rohre geräuschlos. Der Ventilsitz sei stets wenigstens 25 mm unter der Unterkante des Ausflussrohres; die Nichtbeachtung dieser einfachen Umstände hat schon zu endlosen Mühen und Unannehmlichkeiten Veranlassung

gegeben, die sich jedoch, wie gesagt, leicht umgehen lassen. Dicht vor dem Speiseventil, d. h. zwischen Pumpe und Speiseventil, und dem letzteren nahe ist in allen Fällen ein Absperrventil oder Hahn anzubringen; diesen mit dem Speiseventil zu combiniren, ist nicht zu empfehlen. Die Geschwindigkeit des Wassers in den Speiserohren darf 180 m pro Minute nie übersteigen, jedoch thut man gut, besonders bei geringen Durchmessern, bis auf 80 m pro Minute herunter zu gehen, und vermeidet dann alles Schlagen und Vibriren des Speiserohres, was man auch weiter durch Einschalten eines Windkessels zwischen Pumpe und Kesseln verhindern kann.

Zwischen Kessel und Pumpe ist in der Speiseleitung ein Sicherheitsventil von etwa 20 mm Durchmesser am besten mit Federbelastung einzuschalten, damit, falls der Absperrhahn geschlossen ist, die Speiseleitung nicht gesprengt werden kann. Dies Ventil belaste man zu etwa 4 Kilo mehr als der Dampfdruck beträgt.

Ueber die beste Lage des Speiserohres innerhalb des Kessels giebt es sehr viele verschiedene Ansichten. Die verbreitetste Manier ist, das Speisewasser nahe am Boden in den Kessel treten zu lassen. Ob dies für die grösste erreichbare Verdampfung des Kessels die günstigste ist, hängt wesentlich von der Vertheilung der Heizfläche ab. Es kommen hierbei jedoch andere wesentliche Punkte in Rücksicht, welche die geringen wenn überhaupt vorhandenen Ersparnisse an Brennmaterial, für den Speisewassereintritt an verschiedenen Stellen, völlig überwiegen und auf die wir deshalb hier unser Augenmerk richten wollen. Wenn übrigens sehr heisses Speisewasser angewendet wird, so verschwindet dieser Unterschied mehr und mehr.

In Kesseln mit äusserer Feuerung ist es gebräuchlich, das Speiserohr von oben in den Kesselmantel treten zu lassen und dasselbe bis dicht an den Boden zu verlängern, wodurch das kalte Wasser mit den heissen Bodenblechen zusammenkommt. Die natürliche Folge von dieser Einrichtung ist die, die Bleche bei jedesmaligem Wasserzufluss in der Nähe des Speiserohres abzukühlen, wodurch ganz unnöthiger Weise das Leben des Kessels verkürzt wird. Wo man kein heisses Kesselwasser hat und die Kessel in Folge eines mittleren Zuges unter dem Kessel sehr heiss sind, ist diese Anordnung wirklich gefährlich, und führt nur zu häufig zu Rissen in den Ringnähten. Selbst mit Speisewasser von der höchsten erreichbaren Temperatur ist stets ein grosser Unterschied zwischen der Temperatur des Wassers und der der Kesselbleche. Schneidet

man das Rohr kurz, ungefähr 600 mm über dem Boden, ab, so wird der schädliche Einfluss des kalten Wassers ohne Zweifel verringert, in einer grösseren Anzahl von Kesselánlagen jedoch, wo gelegentlich das für dieselben ausreichende Wasser in einen Kessel forcirt wird, muss das Wasser mit solcher Gewalt in diesen getrieben werden, dass es den Bodenplatten schädlich ist. Ein häufig angewandtes Mittel die abkühlende Wirkung des Speisewassers auf die Bleche zu verhindern besteht darin, das Ende des Speiserohres mit einem Gefäss zu umgeben, so dass das Wasser über den Rand desselben überfliessen muss. Man erreicht hierdurch gleichzeitig eine bessere Vertheilung des kalten Wassers und kann in manchen Fällen dies Gefäss auch als Schlammsammler benutzen.

In cylindrischen Kesseln mit einem und zwei Flammenrohren lässt man das Speisewasser gewöhnlich nahe am Boden eintreten, entweder legt man das Speiserohr von oben durch den Kesselmantel oder von vorn durch die Kopfplatte. Diese Methode hat wahrscheinlich darin ihren Grund, dass man befürchtet, durch Einführung des Wassers in einem höheren Punkte den oberen Platten der Flammenrohre gefährlich zu werden und dort die Nietnähte zum Lecken zu veranlassen; ferner dass es gerathen ist, das kalte Wasser so weit unter den Dampfraum einzuführen als möglich, um Condensation zu verhüten.

In Röhrenkesseln nach Art der Locomotivkessel führt man das Speisewasser an verschiedenen Stellen des Feuerkastens oder des Kesselmantels ein, und scheinen hierüber in gewissen Gegenden gewisse Regeln und Vorurtheile zu herrschen.

In allen Kesseln mit innerer Feuerung befindet sich nun ohne Zweifel am Boden ein ganz bedeutendes Quantum stehenden kalten Wassers, welches, selbst nachdem der Kessel schon unter Dampf ist, noch verhältnissmässig niedrige Temperatur beibehält, und es scheint den allgemeinen Verstandesregeln zuwidergehandelt, dieses Quantum kalten Wassers durch Einführung des Speisewassers an dieser Stelle zu erhöhen. Lässt man dasselbe statt dessen in einem höheren Punkte einströmen, so hat das kalte Wasser natürlich das Bestreben zu fallen und hilft dadurch der Circulation im Kessel durch Verdrängung des wärmeren. Im Sinken, welches durch die Circulation verzögert wird, erwärmt es sich, gleicht dadurch die Temperatur oben und unten besser aus, und verhindert die ungleiche Temperatur und somit un-

gleiche Ausdehnung des Kesselmantels, welche letzterem oft sehr nachtheilig wird.

Ein anderer Umstand, der hierbei in Rücksicht kommt, und trotz seiner Bedeutung oft ausser Acht gelassen wird, ist der, dass bei niedrig gelegtem Speisewassereinfluss für den Fall, dass das Speiseventil ausser Ordnung ist, alles Wasser aus dem Kessel gedrückt wird. Dieser Umstand kommt durchaus nicht selten vor, und schon ein Holzsplitter oder sonstiges Hinderniss im Speiseventil kann diesen gefährlichen Zustand herbeiführen. Allein durch diesen Grund sollte man sich verursachen lassen, den Einfluss hoch zu legen, und finden wir denn auch von den besten Fabrikanten den Plan verfolgt, das Speiserohr nur etwa 50 mm unter dem niedrigsten Wasserstand, also 50 mm über dem höchsten vom Feuer berührten Punkte anzubringen. Es ist bei dieser Anordnung unmöglich, dass selbst bei fehlerhaftem Speiseventil die heissen Kesselwände und Flammenrohre plötzlich vom Wasser entblösst werden können. Um nun eine zu plötzliche Abkühlung des Flammenrohres und dadurch mögliche Beschädigung der Nietnähte zu verhindern, lässt man das Wasser durch ein langes, vorn geschlossenes und mit einer Anzahl kleiner Bohrungen von nicht unter 10 mm versehenes Rohr eintreten. Diese Anordnung bewirkt eine sehr gleichmässige Vertheilung über die ganze Wasserfläche. Die Rohre macht man von 1,0 bis zu 2,5 m lang und legt sie horizontal. Man erreicht durch ein langes Rohr auch noch ferner, dass das Wasser in demselben schon erwärmt wird, ehe es austritt, und verhindert dadurch auf das Wirksamste jeden schädlichen Einfluss durch plötzliche Abkühlung der Kesselbleche. Wo Wasser mit einem bedeutenden Gehalt an kohlensaurem Kalk und sonstigen Verunreinigungen angewendet werden muss, wird durch die plötzliche Temperaturerhöhung ein so bedeutender Niederschlag bewirkt, dass sich die feinen Oeffnungen leicht verstopfen würden, was zu sehr grossen Unannehmlichkeiten führen könnte. Dieses umgeht man dann dadurch, dass man das Rohr nur auf eine geringe Entfernung in den Kessel treten lässt und als Verlängerung eine oben offene Blechrinne anbringt, wodurch das zu plötzliche Fallen des Wassers verhindert und eine gleichmässige Vertheilung ebenfalls erzielt wird, während ein Verstopfen bei dieser Anordnung nicht eintreten kann. Bei Kesseln mit innerer Feuerung im Flammenrohre thut man gut, das Speiseventil an der Kopfplatte dem Kesselmantel etwas

näher anzubringen, weil das Flammenrohr am heissesten ist. Bei Cylinderkesseln mit zwei Flammenrohren und innerer Feuerung ist der Raum zwischen den Rohren sehr passend *). In Locomotiv- sowohl als verticalen Röhrenkesseln liegen die Speisewassereinflüsse meist so versteckt, dass sie schwer zu untersuchen sind, man thut deshalb gut, hier jede innere Vorrichtung für die Vertheilung des Wassers wegzulassen, und umgeht dadurch die Möglichkeit des Verstopfens. Ein kurzes Stück Rohr, welches dem einströmenden Wasser eine solche Richtung ertheilt, dass es nicht gegen die am meisten erhitzten Flächen strömt, ist jedoch zu empfehlen. Man lege in Locomotivkesseln den Speisewassereinlass nie dicht an die Rohrplatte oder die Feuerkastenbleche, weil die plötzliche Abkühlung hier leicht das Lecken der Rohre, wenn nicht gar das Reissen der Rohrwand verursacht. Selbst bei Anwendung von Injection, trotz der hohen Temperatur des Speisewassers, sind diese Vorsichtsmaassregeln zu beachten.

Befindet sich das Speiseabsperrventil auf dem Kessel oder sonst in einer Lage, wo der Heizer es nicht leicht erreichen kann, so muss eine geeignete Vorrichtung angebracht werden, durch welche dasselbe vom Vorderende, dem Heizerstande, aus leicht operirt werden kann. Ist dies nicht der Fall, so lässt der Heizer häufig das Wasser bis auf den niedrigsten Wasserstand sinken, pumpt dann voll und arbeitet seinen Wasservorrath wieder herunter, eine Manier, die dem Kessel stets schädlich ist, weil plötzlich eine grosse Quantität kalten Wassers in den erhitzten Kessel eintritt und Lecke in den Nietnähten verursacht. Ferner wird der Dampfdruck vermindert, der Heizer muss stärker feuern, und kommt so von Excessen auf einer Seite zu denen auf der anderen. Wo der Dampfverbrauch einigermaassen regelmässig ist, muss darauf gesehen werden, den Wasserstand möglichst auf einer Höhe zu erhalten.

Es ist aus verschiedenen Gründen wichtig, das Speisewasser möglichst heiss in den Kessel zu bringen, erstlich um eine gleichmässige Temperatur im Kessel zu behalten, wodurch

---

*) Tritt das Speiserohr bei horizontalen Kesseln von oben ein, so verbindet man das verticale Rohr mit einem T-förmigen Ansatz, in dessen horizontalem Theil die Ausströmungsöffnungen sich befinden. Dieses T-Stück muss so angebracht sein, dass es sich der leichten Reinigung wegen schnell entfernen lässt.

derselbe einer geringeren Abnutzung ausgesetzt ist, und zweitens wird durch vorgewärmtes Speisewasser eine ganz erhebliche directe Kohlenersparniss erzielt. Ueber die Zahlenwerthe dieser Ersparniss wird noch später gesprochen werden. Erwähnt mag hier werden, dass schlecht eingemauerte Kessel, bei denen eine gut eingerichtete Anordnung zum Erhitzen des Speisewassers durch die Verbrennungsgase angebracht wird, anscheinend die grössten Nutzeffecte geben, weil bei einer schlechten Kesseleinmauerung die Gase sehr heiss in den Schornstein abziehen, und durch einen Speisewassererwärmungsapparat ausgenutzt werden können.

Das Speisewasser kann auf verschiedene Weise erhitzt werden. In Condensationsmaschinen benutzt man gewöhnlich das Wasser aus dem Ausgusskasten, welches auf ungefähr 38° C. vorgewärmt ist. Bei Maschinen ohne Condensation kann dasselbe in besonderen Apparaten durch den Retourdampf entweder durch Oberflächen oder durch Injectionsvorrichtungen erwärmt werden, und kann man hierdurch günstigen Falls eine Temperatur von 100° oder wenigstens sehr nahe daran erhalten. Bei den Vorwärmern durch Oberfläche lässt man meist das Wasser von der Pumpe auf seinem Wege zum Kessel durch ein Röhrensystem drücken, welches von aussen durch den Retourdampf umgeben ist. In anderen Einrichtungen lässt man den Dampf durch ein Röhrensystem passiren, welches aussen in einem möglichst engen Ringe vom Wasser umgeben ist. Enthält das Speisewasser eine bedeutende Quantität mineralischer Bestandtheile, hauptsächlich kohlensauren Kalk, so bilden sich in oder auf dem Rohre sehr bald Niederschläge, welche zuerst die Wirkung des Vorwärmers beeinträchtigen, oder wenn die Rohre enge sind und besonders bei horizontaler Lage derselben diese gänzlich verstopfen. Am besten bewähren sich die Constructionen, bei denen der Dampf durch ein Rohrsystem entweicht und man dem Wasser hinreichendes Volumen giebt, damit es lange genug mit den heissen Röhren in Berührung bleiben kann. Diese Rohre lassen sich auch von aussen besser reinigen.

Erhitzt man das Wasser durch Injection mittelst des Retourdampfes, so führt man meist das Auslassrohr in ein offenes oder geschlossenes Bassin und lässt den Dampf über die Oberfläche des Wassers streichen. Bei vorsichtiger Regulirung des Wasserzuflusses kann man die Temperatur meist auf dem Siedepunkte erhalten. Man kann auch eine

Combination dadurch herstellen, dass man den Retourdampf durch die Verbrennungsgase erhitzt und mit ersterem das Wasser erwärmt. Ein sehr guter Plan ist der, das Wasser in Form eines feinen Regens in einem weiten Rohre fallen zu lassen, in welchem der Retourdampf aufsteigt; wird jedoch im Cylinder viel Fett benutzt, und das Wasser enthält kohlensauren Kalk und Magnesia, so verbinden sich beide zu einer seifenartigen Substanz, durch die ein Ueberhitzen möglich wird, welches laufende Nietnähte, eingerissene Nietlöcher und ausgebauchte Bleche verursacht.

Es giebt ferner verschiedene Methoden, das Wasser mit Hilfe der Verbrennungsgase zu erhitzen. Gewöhnlich lässt man das Wasser durch ein in die Züge gelegtes Rohrsystem fliessen, und kann bei einer Temperatur der abziehenden Gase von 315° bis 370°, wenn der Kessel im Betriebe ist, die Temperatur auf den Siedepunkt bringen, und selbst eine höhere erreichen. Diese Apparate sind meist wenn neu sehr wirksam, verlieren aber bald ihre gute Wirkung, wenn die Rohre durch Russ und Asche bedeckt sind, welches sich nicht anders umgehen lässt, als dadurch die Rohre häufig rein zu kratzen.

Da sämmtliche Vorwärmeapparate mehr oder weniger Schäden ausgesetzt sind, entweder durch Kesselstein oder Russablagerung unwirksam werden, oder dadurch, dass in schwer erreichbaren Stellen Verschraubungen lecken, und was sonst noch vorkommen mag, ist es rathsam, entweder einen Reserveapparat zu besitzen, oder die Speiseleitung von der Pumpe nach dem Kessel so anzuordnen, dass durch Schliessen eines und Oeffnen eines anderen Ventils eine directe Communication hergestellt ist. Falls nun dem Vorwärmer etwas passirt, hat man weiter keine Unannehmlichkeit, als mit kaltem Wasser speisen zu müssen.

Sicherheitsventile.

Die Sicherheitsventile müssen gross genug ausgeführt werden, um allem Dampf, welcher in einem Kessel erzeugt werden kann, einen freien Ausgang zu ermöglichen, ohne dass dabei der Druck im Abblaserohr wesentlich erhöht wird. Das Dampfquantum richtet sich natürlich nach dem Quantum des Brennmaterials und der Verdampfungsfähigkeit desselben.

Diese Factoren sind wieder von der Grösse der Rostfläche, dem Verbrennungsverhältniss, von der Qualität des Brennmaterials und der Grösse und Wirksamkeit der Heizfläche abhängig. Anstatt die grösste mögliche Dampfmenge nach der Grösse der Heizfläche zu berechnen, können wir dieselbe dadurch bestimmen, dass wir die Quantität des verbrannten Materials berücksichtigen. Ein Kilo Kohle kann im best construirten Kessel, unter den günstigsten Umständen, höchstens 10 Kilo Wasser verdampfen.

Es sei S = dem Dampfquantum, welches pro Secunde erzeugt wird, in Kilo,
q = Rostfläche in Quadratmetern,
c = Quantität Kohle in Kilo, welche pro Quadratmeter Rostfläche in einer Stunde verbrannt werden kann,

so ist:

$$S = \frac{q \,.\, c \,.\, 10}{3600} = \frac{q\,c}{360}.$$

Nun ist nach Herrn Mc Farlane Gray die Geschwindigkeit, mit welcher Dampf von mehr als 0,8 Kilo pro Quadratcentimeter Druck in die Luft ausströmt, annähernd durch folgende Formel dargestellt:

$$G = \frac{P}{70},$$

wenn G = Gewicht des Dampfes in Kilo, welcher in einer Secunde durch eine Oeffnung von 1 Quadratcentimeter entweichen kann, P = Druck in Kilo pro Quadratcentimeter über dem absoluten Nullpunkt.

Damit nun der Dampf ebenso schnell ausströmen kann, als er erzeugt wird, muss der Querschnitt des Sicherheitsventils A gleich sein $\frac{S}{G}$, es ist demnach:

$$A = \frac{q \,.\, c}{P \,.\, 5{,}14}.$$

Die Geschwindigkeit des Ausströmens wird jedoch bis zu einem gewissen Grade von der Trockenheit des Dampfes und der Anordnung und Construction des Ventils abhängig sein. Ist die Ventilöffnung nicht gross genug, den Dampf so schnell entweichen zu lassen, als er sich bildet, so muss sich der Dampfdruck in gewissen Grenzen erhöhen. Durch die erhöhte

Temperatur und den höheren Druck vergrössert sich die Dichte des Dampfes, und die ausströmende Quantität wird eine grössere, und während das belastende Gewicht und die erzeugte Dampfmenge constant bleiben, vergrössert sich bei höherem Druck der Hub des Ventils, so dass eine Erhöhung des Druckes im Ausströmungsrohre verursacht durch zu geringen Ventilquerschnitt sehr bald das Maximum erreicht.

Es könnte gefolgert werden, dass wenn der Druck ein Ventil hebt, dies Heben so lange fortfahren würde, bis die ringförmige Ausflussöffnung dem Querschnitt des Ventils gleichkommt, dass der Ventilhub also $\frac{1}{4}$ des Durchmessers betrüge, wenigstens für ein flaches Scheibenventil. Versuche haben jedoch festgestellt, dass dies nicht der Fall ist, und dass sich Sicherheitsventile selten mehr als 2,5 mm heben, wenn nicht, nachdem dieselben sich zu öffnen anfangen, der Druck sehr bedeutend erhöht wird; aus diesem Grunde sollte man die Ventile so proportioniren, dass sie bei 2,5 mm Hub allen Dampf ausströmen lassen können. Für sehr grosse Kessel, wo der Durchmesser des Ventils 125 mm übersteigen würde, ist es gerathen, zwei oder mehr Ventile geringeren Durchmessers anzuwenden, weil der Querschnitt und somit die Belastung des Ventils mit dem Quadrat des Durchmessers, die nutzbare Ausströmungsöffnung nach obiger Betrachtung jedoch nur mit dem Durchmesser wächst. Ventile mit conischem Ventilsitz öffnen sich weniger, als flache Ventile, für einen Winkel von 45^0 ist die Oeffnung nur etwa $\frac{7}{10}$ von der eines flachen Ventils. Da man in einem Kessel die Heizfläche ganz bedeutend vergrössern oder verkleinern kann, ohne die Verdampfungsfähigkeit desselben wesentlich zu ändern, so sind die Berechnungen für die Grösse des Sicherheitsventils, die sich nur auf die Grösse der Heizfläche stützen, von wenig Werth.

Da sich ferner die Wirksamkeit der Heizfläche schwer bestimmen lässt, muss man in solchen Berechnungen stets das erreichbare Maximum als Grundlage benutzen. Ebenso wenig sind die auf die Grösse des Rostes basirten Rechnungen zuverlässig, weil sich in verschiedenen Kesseln das Gewicht der pro Flächeneinheit des Rostes verbrannten Kohle sehr bedeutend ändert.

Die Sicherheitsventile können in zwei Classen getheilt werden, erstens solche mit ebenen Ventilsitzen, und zweitens

solche mit conischen Sitzen, zu letzteren gehören auch noch die Kugelventile.

Zur Führung des Ventils wendet man entweder innere Federn, Spindeln, oder auch aussen angeordnete Führungen an. Als besonderer Vorzug der flachen Ventile wird hervorgehoben, dass sich dieselben nicht so leicht festsetzen, und wendet man sie aus diesem Grunde an, so muss man der Consistenz halber auch die äussere Spindelführung benutzen. Ein Uebelstand bei diesen flachen Ventilen ist die Schwierigkeit, mit der sich für hohen Druck ein dampfdichter Verschluss auf die Dauer herstellen lässt. Bei 8 Kilo pro Quadratcentimeter ist es fast unmöglich, ein flaches Ventil von circa 3 mm Sitzbreite dicht zu erhalten. Ein anderer Uebelstand ist der, dass der Dampf in Folge der Aenderung der Richtung sehr träge über die breite horizontale Sitzfläche ausströmt, und in Folge dessen steigt der Druck bedeutend höher als der, bei dem das Ventil zuerst zu blasen beginnt.

Als Vorzug der conischen Ventilkugel lässt sich anführen, dass diese besser dicht halten, wenn die Berührungsfläche nicht zu breit gemacht wird. Ein Conus von 2 bis 2,5 mm Breite ist für alle Fälle, bis zu 100 mm Durchmesser, vollständig breit genug, und selbst für grössere Ventile häufig den breiten Sitzen, bis zu 5 mm, vorzuziehen. Der gebräuchlichste und beste Winkel ist 45^0; spitzere Winkel haben mehr die Neigung sich festzusetzen, und es ist deshalb gerathen, nicht unter 45^0 herunter zu gehen. Es wird manchmal gegen die conischen Ventile ausgesagt, dass um eine gleiche Ausströmung des Dampfes zu erreichen das conische Ventil eines hohen Hubes bedürfe. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass selbst ein gewöhnlich ausgeführtes conisches Ventil den Druck im Kessel nicht so hoch den vorgeschriebenen überschreiten lässt, als das flache Ventil, wenn alle Verhältnisse dieselben sind.

Die gebräuchlichsten Methoden, die Ventilkegel zu führen, sind innere Federn oder eine äussere Spindel, jedoch ist erstere Anordnung entschieden vorzuziehen, da bei einer Spindel die Gefahr verbogen zu werden, oder sich durch Schmutz und Rost in der Führung festzusetzen grösser ist, als bei den Federn. Bei letzterem ist besonders darauf zu achten, dass die Ventile nicht zu dicht eingepasst werden, weil sie sich sonst beim Warmwerden festsetzen, besonders wenn der Sitz aus Gusseisen und der Ventilkegel aus Roth-

guss angefertigt ist. Die ungleiche Expansion dieser Metalle kann sehr gefährliche Unfälle veranlassen; so schreibt man z. B. die Explosion auf dem englischen Panzerschiff „Thunderer“ diesem Umstande zu. Kugelventile bedürfen keiner Führung, sondern nur eines Korbes, um die Kugel an dem Wegrollen zu hindern; diese Ventile setzen sich daher seltener fest, ein sehr wesentlicher Punkt bei Sicherheitsventilen.

Die Belastung der Sicherheitsventile geschieht entweder mittelst eines Hebels und Gewichtes, oder aber auch direct durch Gewichte oder Federn. In der Anordnung der Hebel findet man sehr häufig einen Fehler, der schlechte Folgen haben kann. Es ist nothwendig, dass bei Ventilen, wo der Hebel direct mittelst eines Vorsprunges auf den Ventilsitz drückt, dieser Druckpunkt und der Drehpunkt des Hebels in einer Horizontalen liegen. Ist dies nicht der Fall, so muss beim Heben des Ventilkegels der Druckpunkt sich auf der Oberfläche des Kegels verschieben, wodurch ein seitlicher Druck verursacht wird. Ueberträgt man jedoch den Hebeldruck mit Hilfe eines losen Stiftes auf das Ventil, so fällt dieser Uebelstand weg, und ist es bei derartigen Anordnungen empfehlenswerth, den Ventilkegel mit einer Vertiefung zu versehen, so dass der Stift in einem Punkte lagert, welcher tiefer liegt, als die Dichtfläche; hierdurch wird der Druck gewissermaassen in Zug umgewandelt, und alle seitlichen Beeinträchtigungen vermieden. Benutzt man im Drehpunkte des Hebels, welcher fast stets aus Eisen angefertigt ist, einen Bolzen, so ist es anzurathen, diesen aus Rothguss anzufertigen, und zwischen dem Hebel und der Gabel seitlich zwei dünne Kupferplättchen einzulegen, weil man dadurch das Zusammenrosten der Theile verhindert. Eine bessere Anordnung ist die, den Hebel statt mit einem Bolzen mit gehärteter Stahlzunge und Pfanne wie einen Wagebalken anzuordnen, wodurch auch gleichzeitig die Reibung auf ein Minimum reducirt wird. Genau betrachtet ändert sich die Hebellänge in allen Ventilen, die durch Hebel belastet sind, wenn dieselben sich heben, jedoch ist dies, wenn richtig angeordnet, d. h. Dreh- und Druckpunkt in einer Horizontalen liegen, unbedeutend, vermehrt sich aber, je mehr man den Drehpunkt über oder unter den Druckpunkt legt.

Sicherheitsventile mit Hebel haben alle einen Uebelstand, nämlich den, dass sie von gewissenlosen oder unvernünftigen Wärtern auf die einfachste Art werthlos gemacht werden können. Alle

Umstände, welche dies begünstigen, sollten deshalb vorsichtig vermieden werden, und ist die Manier, das Ventil in einen Blechkasten einzuschliessen, aus diesem Grunde sehr empfehlenswerth; leider entzieht man jedoch dadurch das Ventil dem Auge des Wärters, und werden dadurch Fehler leicht unbemerkt bleiben. Sind die Ventilhebel länger wie nothwendig, so findet man oft Gewichte, alte Flantschen und alle möglichen anderen Gegenstände daran gehängt; um dies zu umgehen, soll der Hebel nie länger wie nöthig, und das Gewicht mit Hilfe eines Stifts, in seiner Stellung am Hebel unveränderlich befestigt sein. Eine Anordnung, die man häufig findet, ist die Führungsgabel, für den Hebel oben geschlossen ausgeführt; hierdurch bietet sich eine ungemein günstige Gelegenheit, einen Keil zwischen Hebel und Führung zu treiben, um das lästige Abblasen bei undichtem Ventil zu verhindern. Allerdings wird diese geschlossene Gabel häufig deshalb angeordnet, um bei etwaigem zufälligen Abfallen des Gewichtes vom Hebel das gänzliche Abblasen des Kessels zu verhüten, jedoch sollte diese Anordnung nie angewendet werden. Am besten ist es, das ganze zur Belastung nöthige Gewicht aus einem Stücke zu giessen, weil dieses sich am besten in der richtigen Lage befestigen, und ein Ueberladen durch andere Stücke sich dann am leichtesten bemerken lässt. Um das Nachschleifen des Ventilkegels zu erleichtern, feilt man am besten den oben vorstehenden Stutzen an zwei Seiten flach, oder trifft andere Anordnungen, um das Ventil zu schleifen.

Eine in vielen Fällen angewandte Einrichtung ist die, das Ventil geschlossen auszuführen und ein Abblaserohr anzubringen. Hier begegnen wir wieder neuen Uebelständen, die durch den Deckel des Ventilgehäuses gehende Spindel kann sich, wenn zu dicht oder gar verpackt, in diesem festsetzen, und dadurch das freie Oeffnen desselben beeinträchtigen. Man vergesse auch nicht, dieses Abblaserohr und mit ihm das Ventilgehäuse mit einem Entwässerungsröhrchen zu versehen, weil sich hier stets Wasser ansammelt und dem Dampf den freien Ausgang versperren wird.

In kalten Kesselhäusern kommt es sogar vor, dass im Winter das Wasser über Nacht einfriert, die Folgen von Eis in Rohren und Ventilkörpern sind zu hinlänglich bekannt, als dass sie der Erwähnung bedürften. Man darf sich natürlich nicht damit begnügen, in das Abblaserohr einfach ein Loch zum Entwässern zu bohren, hierdurch würde eine bestimmte Stelle im Kessel stets

nass sein und sicher darunter leiden. Wo man geschlossene Sicherheitsventile anwendet, ist es anzurathen, ausser dem mit Hebel versehenen geschlossenen Ventil, für den concessionirten Druck proportionirt, ein zweites offenes Ventil auf demselben Kessel anzubringen, welches eine etwas höhere Belastung trägt, vielleicht 0,1 Kilo über der concessionirten Spannung, und zwar sind hierzu die direct belasteten Ventile zu empfehlen. Sobald nun dies letztere abbläst, weiss man, dass das geschlossene Ventil in Unordnung ist, und wird dann sehr bald danach sehen. Uebrigens ist es nothwendig, die Ventile von Zeit zu Zeit unter Dampfdruck zu probiren, wobei man ja bei etwas niedrigem Druck leicht ein wenig nachhelfen kann, nur um sich zu überzeugen, dass Alles in Ordnung ist.

Bei der Bestimmung des Gewichtes am Ende des Hebels für einen gegebenen Druck pro Flächeneinheit muss natürlich das Gewicht des Ventilkegels selbst, sowie auch der Einfluss des Hebels berücksichtigt werden. Erstere kann man wiegen und zieht sie als directe Belastung in Rechnung, etwas umständlicher ist die Bestimmung des Einflusses des Hebels; dieser ist gleich dem Gewicht des Hebels multiplicirt mit der Länge des Schwerpunktsabstandes vom Drehpunkte. Den Schwerpunkt kann man nun auf verschiedene Art bestimmen, ist der Hebel selbst zur Hand, so balancirt man ihn auf einer scharfen Kante, oder man kann auch den Einfluss des Ventils und Hebels dadurch messen, dass man am fertigen Ventil genau über dem Ventilmittelpunkte eine Federwage aufhängt, und das Gewicht direct misst. Genau genommen sind alle diese Methoden nicht absolut correct, weil dieselben nicht den Einfluss der Reibung im Bolzen und der Federn unter Druck in Rechnung ziehen. Man kann jedoch hiervon absehen und findet in der Praxis, dass selbst sehr vorsichtig berechnete Ventile, besonders Kegelventile, nicht genau bei dem berechneten Druck abblasen, und tritt dies stets auf, wenn der Kegel nicht genau auf der ganzen Fläche aufliegt, und es ist deshalb zu empfehlen, die Sicherheitsventile durch das Manometer bei der hydraulischen Druckprobe zu reguliren.

Bezeichnet man durch:

W Gewicht am Ende des Hebels in Kilo,

L Hebellänge vom Drehpunkte bis zum Aufhängungspunkte des Gewichtes,

w Gewicht des Hebels in Kilo,

g Entfernung des Schwerpunktes vom Drehpunkte,
P Druck in Kilo pro Quadratcentimeter (über dem Atmosphärendruck),
V Gewicht des Ventils in Kilo,
A Querschnitt des Ventils in Quadratcentimeter,
l Entfernung zwischen Drehpunkt und Druckpunkt,
so findet man das Gewicht:

$$W = \left[(P \,.\, A) - \left(V + \frac{w \,.\, g}{l}\right)\right] \frac{l}{L} \quad \ldots\ldots (1)$$

oder man findet für ein Ventil von gegebenen Dimensionen den Dampfdruck, bei welchem es abbläst:

$$P = \left[\frac{(w \,.\, g) + (L \,.\, W)}{l} + V\right] \div A \quad \ldots\ldots (2)$$

oder für gegebene Verhältnisse die Hebellänge zu bestimmen:

$$L = \left[(P \,.\, A) - \left(V + \frac{w \,.\, g}{l}\right)\right] \frac{l}{W} \quad \ldots\ldots (3)$$

Ist das Hebelende durch eine Federwage belastet, so vermehrt sich der Druck auf dasselbe ganz bedeutend beim Oeffnen des Ventils, verursacht durch das Verkürzen oder Verlängern der Feder. Sei z. B. ein Hebel wie 1 zu 10 proportionirt und das Ventil hebe sich um 1,5 mm, so würde dies am Hebelende einem Hub von 15 mm entsprechen, und ist die Scala so getheilt, dass pro Centimeter Länge 0,5 Kilo darauf abgetragen sind, so entspricht dieser Hub einem Druck von 0,75 Kilo pro Quadratcentimeter, den der Dampf extra zu überwinden hat, um das Ventil 1,5 mm hoch zu heben.

Das Gewicht, mit welchem ein Ventil belastet werden muss, wächst mit dem Quadrat des Durchmessers, während die Oeffnung für den Dampfauslass nur mit dem einfachen Verhältniss des Durchmessers wächst, und es ist deshalb klar, dass je grösser der Durchmesser des Ventils, um so grösser wird der vermehrte Druck beim Oeffnen des Ventils für ein gewisses Verhältniss zwischen Querschnitt und Oeffnung sein, wenn die Theilung für die Federn als gleich angenommen wird. Dieser vermehrte Druck kann allerdings durch sehr lange Federn verringert oder praktisch beseitigt werden, jedoch ist man bei Ventilen in der Länge fast stets beschränkt.

Durch Federn direct belastete Ventile haben denselben Fehler, hier ist der geringere Hub durch eine bedeutend höhere Spannung der Feder ausgeglichen. Mit Hülfe von

Winkelhebelanordnungen kann man diesen vermehrten Druck durch verringertes Hebelverhältniss bedeutend verkleinern.

Um die Scalen von Federwagen einzutheilen, hat man nur nöthig, bei der Theilung das Gewicht vom Hebelventil und Druckstift als constant zu betrachten und auf der Scala für dasselbe abzusetzen, wiegt dies z. B. 5 Kilo und das Ventil hat 10 qcm Querschnitt, so haben wir hierdurch einen constanten, von der Feder unabhängigen Druck von 0,5 Kilo pro Quadratcentimeter, und beginnen nun, statt von einem Nullpunkte, von 0,5, und kann die weitere Eintheilung durch directe Belastung geschehen. Manche Fabrikanten halten es für besser, die Scala bei der hydraulischen Druckprobe festzustellen und nach einem zuverlässigen Manometer zu verzeichnen, jedoch hat dies auch seine Schwächen, da ein gewöhnliches Ventil Wasser weit früher austreten lässt als Dampf und würde es aus diesem Grunde sicherer sein, diese Eintheilung unter Dampfdruck vorzunehmen. Die Methode hat den Vortheil, die durch den Druck in den einzelnen Theilen verursachte Reibung in Rechnung zu bringen.

Häufig wird bei der Eintheilung von Federwagen der Einfluss des Gewichtes von Ventilhebel und Zubehör vernachlässigt, und zwar stützt man sich dabei darauf, dass, sobald das Ventil sich hebt, die Fläche, gegen welche der Druck wirkt, grösser wird, und somit das geringe Uebergewicht des Hebels gänzlich unberücksichtigt bleiben darf. Dies ist jedoch nur ein schwacher Grund; erstlich würde man dann die Breite des Ventilsitzes nach allen möglichen Verhältnissen einzurichten haben, was natürlich nicht geschehen kann, und zweitens ist schon früher bemerkt worden, dass der vergrösserte Ventilquerschnitt auf das weitere Heben des Ventiles wenig oder keinen Einfluss hat, vielleicht besonders deshalb, weil der Flüssigkeitsdruck nach dem Oeffnen kein verticaler Druck ist. Nach Formel (2) Seite 159 kann mit hinreichender Genauigkeit der Druck berechnet werden, bei welchem das Ventil sich öffnet, vorausgesetzt, dass die ganze Anordnung und Arbeit fehlerfrei sind; wie hoch jedoch der Dampfdruck noch steigen wird, nachdem das Ventil sich einmal zu öffnen begonnen hat, wird von dem Dampfdruck selbst, der Construction des Ventils und der Verdampfungskraft des Kessels abhängen.

Von den direct belasteten Sicherheitsventilen, die beson-

ders auf Schiffskesseln Anwendung finden, giebt es eine Anzahl von Constructionen; man belastet dieselben entweder innerhalb des Kessels selbst, oder ausserhalb desselben. Letztere Anordnung hat den Vortheil, dass man die Gewichte besser überwachen und untersuchen kann, und kann auch ein Ueberladen nicht leicht vorkommen, ohne sofort bemerkt zu werden. Bei den Ventilen, wo das Gewicht innen im Kessel an der Ventilspindel befestigt hängt, kann es vorkommen, dass die Spindel, durch Oxidation geschwächt, zerreisst, und wird in dem Falle das Ventil weggeblasen, und der Strahl von Dampf und heissem Wasser kann sehr gefährliche Folgen haben. Die Spindeln des innen belasteten Ventils werden auch zu Zeiten verbogen, und dann lagert das Ventil oft nicht richtig im Sitz; um dies zu vermeiden, versehe man die Spindel, wenn innere Belastung angewandt werden muss, mit einem Gelenk. Die grossen Gewichte, welche für direct belastete Ventile von grossem Querschnitt nöthig sind, sind innen und aussen im Wege, jedoch haben alle direct belasteten Ventile den Vortheil, dass durch hinzugefügte Gewichte eine gefährliche Ueberladung nicht leicht erzielt werden kann; um z. B. ein Ventil von 100 mm Durchmesser mit 1 Kilo pro Quadratcentimeter zu überladen, würde der Kesselwärter 80 Kilo Gewichte darauf aufzuhäufen haben, eine Quantität, die erstlich schwer zu beschaffen, und zweitens sofort entdeckt werden muss.

Die besten direct belasteten Sicherheitsventile sind die Gruppenventile von „Cowburn“, und mehrjährige Erfahrung und vorsichtige Beobachtung dieser Ventile haben den Schreiber dieses überzeugt, dass das „Cowburn-Ventil“ ein sehr zuverlässiges Sicherheitsventil ist. Diese Ventile, in Gruppen von einem Quadratzoll ausgeführt, von denen bis zu 5 auf einem gemeinsamen Gehäuse stehen, haben Kugelventile, bedürfen deshalb keiner Führung, das Gewicht ist über das Ventil derart gehängt, dass es durch Zug wirkt, und die Anordnung in Gruppen vermindert für dieselbe freie Ausströmungsöffnung bei gleichem Hube des Ventils den Querschnitt, und somit das Gewicht. Betrage der Hub des Ventils 1 mm, so erhält man für ein Ventil von 25 mm Durchmesser 78,5 qmm Querschnitt und eine Belastung von 4,9 Kilo für jedes Kilo pro Quadratcentimeter Dampfdruck. Ein Ventil von 100 mm verlangt die sechszehnfache Belastung des obigen, während vier Ventile von 25 mm Durchmesser dem Dampfe die gleiche

Ausströmungsöffnung bieten, und nur das vierfache Gewicht nöthig machen.

Für stationäre Kessel vermeide man die Anwendung von Federventilen gänzlich, und habe ausser dem Hebelventil stets ein direct belastetes; ersteres eignet sich in dem Falle für das etwas niedriger belastete geschlossene Ventil mit Ablaserohr. Bei Federventilen für Locomotiven und Locomobilen achte man darauf, dass zwischen der Mutter und dem Federgehäuse ein Ring von solcher Länge eingeschaltet ist, dass die Stellmutter nicht höher als bis zum concessionirten Druck geschraubt werden kann, oder man kann schon bei der Anfertigung diesem Umstande dadurch vorbeugen, dass man die Federspindel nur soweit mit Gewinde versieht, als die Mutter angeschraubt werden darf.

Da es bei allen Ventilen vorkommen kann, dass dieselben sich festsetzen, so müssen sie jeden Morgen, ehe Dampf im Kessel ist, gehoben werden, damit sich der Wärter überzeugt, dass dieselben in guter Ordnung sind. Um dies zu ermöglichen, müssen alle direct belasteten Ventile mit einem Hebel zum Heben des Ventils versehen sein, der jedoch so anzuordnen ist, dass er nicht zum Niederdrücken und Belasten desselben gebraucht werden kann. Ventile, die man in Gehäuse einschliesst, um dieselben vor dem Ueberladen zu schützen, müssen eine solche Anordnung besitzen, dass sie von aussen gehoben werden können, sonst können sie leicht, besonders da sie nicht vom Wärter untersucht werden können, in Unordnung gerathen, sich festsetzen, und statt grössere Sicherheit zu gewähren, um so gefährlicher werden.

In dem Capitel über Kesselexplosionen werden wir noch einmal auf die Ventile zurückkommen.

Ausser den Sicherheitsventilen giebt es eine Unzahl von Apparaten, welche zu hohe Dampfspannung im Kessel verhindern sollen, jedoch sind die meisten derselben so complicirt und so leicht dem Ausserordnunggerathen ausgesetzt, dass dieselben nicht zu empfehlen sind. Hierher gehören automatische Apparate zum Schliessen des Rauchschiebers, Apparate, welche Wasser auf den Herd treiben, und viele andere.

In Kesseln, welche für geringen Druck construirt sind sowohl, als in alten und schwachen Kesseln, ist es nöthig, ein nach innen sich öffnendes Ventil anzubringen. Unter Umständen kann im Kessel ein Vacuum gebildet werden, und der Kessel

würde dann durch äusseren Druck zerstört, wenn kein Luftventil angebracht ist.

Apparate, welche bei niedrigem Wasserstande in Wirkung treten.

Von diesen Apparaten giebt es eine fast endlose Zahl, viele von gänzlich untauglicher Construction, während einige davon sehr gute Dienste leisten und recht tauglich gefunden worden sind. Die besseren Constructionen sind meist gleichzeitig mit einer Dampfpfeife versehen, wodurch die Aufmerksamkeit des Heizers erweckt wird. Hierher gehören der Blak'sche Warner und die Apparate von Hopkinson und Key. Jeder von diesen Apparaten bildet ein sehr werthvolles und zuverlässiges Armaturstück.

Schmelzbare Platten.

Schmelzbare Platten, schon vor Jahren in Frankreich gesetzlich angeordnet, jedoch bald wieder als unzuverlässig verworfen, werden in neuerer Zeit wieder, allerdings in sehr veränderter Form, vielfach angewendet, besonders in Flammenohren, um hier ein Ueberhitzen und Bersten in Folge zu niedrigen Wasserstandes zu verhindern. Dieselben werden auch für Locomotiv- und Locomobilfeuerbüchsen sehr vielfach benutzt. Die besseren Constructionen bestehen aus nur kleinen Theilen schmelzbaren Metalls, welches in passender Weise in eine Metallhülse eingesetzt ist, und diese letztere wird am höchsten Punkte in das Flammenrohr über dem Rost oder in die Feuerkiste eingeschraubt, und soll wenigstens 50 mm über der Oberfläche stehen. So lange die schmelzbare Metallplatte sich unter dem Wasserspiegel befindet, verhindert die niedrige Temperatur des Wassers das Schmelzen, sobald jedoch der Wasserstand tiefer sinkt, soll die Platte durch die grössere Hitze des Feuers geschmolzen werden, worauf zuerst ein Lecken eintritt, bald aber tritt das Wasser auf den Herd, und löscht das Feuer aus.

Trotzdem sich nun diese kleinen Sicherheitsapparate eines sehr guten Rufes und einer bedeutenden Verbreitung erfreuen, kommen doch jährlich verschiedene Fälle von verbrannten

Flammrohren und Feuerkastendecken vor, welche mit diesem Apparate versehen waren, ohne beim zu niedrigen Wasserstande zu schmelzen. Dies ist jedoch in fast allen Fällen sehr leicht erklärlich; oben sammelt sich auf der Platte Kesselstein und Schlamm an, unten wird die Fläche durch Russ weniger feuerempfindlich, und ferner ändert sich auch die Schmelzbarkeit vieler Legirungen durch längere Berührung mit dem Feuer. Die Hülsen oder Gehäuse, in welche das schmelzbare Metall eingesetzt ist, müssen von hinreichender Grösse sein, erstlich damit sie sich besser reinigen lassen, und ferner, damit das Feuer frei auf dieselben einwirken kann.

Um von der leitenden Wärme der Metallgehäuse Vortheil zu ziehen und das Schmelzen des Metalls zu sichern, hat man aus der leicht schmelzbaren Legirung conische Ringe angefertigt, welche zwischen Gehäuse und einem inneren Kern eingegossen sind; eine andere Anordnung ist die, in ein Messinggehäuse eine Anzahl Löcher von geringem Durchmesser zu bohren und diese mit der Legirung zu füllen, wodurch gleichzeitig die Zahl der die Wirksamkeit des Apparates sichernden Stücke vermehrt wird. Auf der anderen Seite jedoch haben diese schmelzbaren Platten von geringem Durchmesser auch ihre Nachtheile. Eine selbst dünne Kesselsteinschicht über dem kleinen Loche würde das Entweichen von Wasser, selbst nach dem Schmelzen der Platte, verhüten, ein Fall, der häufig vorkommt. Widersteht doch eine Kesselsteinschicht von nur 1,5 mm über einem Loche von 12 mm Durchmesser einem Druck von 5 bis 6 Kilo, und muss man deshalb bei der Wahl schmelzbarer Platten die Beschaffenheit des Speisewassers in Rücksicht ziehen.

Enthält das Speisewasser viel kohlensauren Kalk und Magnesia, besonders wenn noch Oel in den Kessel gerathen kann, so findet man häufig, dass die Platten schmelzen, wenn noch hinlänglich Wasser über denselben steht; in diesen Fällen deuten dieselben allerdings auch die Gefahr des Ueberhitzens für die Bleche an. Um sich vor der Gefahr zu schützen, dass die Schmelzbarkeit sich mit der Zeit durch den Einfluss des Feuers ändern kann, ist es gerathen, dieselben alle drei bis vier Monate auszuwechseln, natürlich kann man dann nur solche Constructionen anwenden, die dies Auswechseln ohne grosse Schwierigkeit und Kosten möglich machen. Es darf nun etwa nicht angenommen werden, dass der Dampf in

einem mittelgrossen Kessel durch ein Loch von 12 bis 20 mm Durchmesser hinreichenden Ausweg finden könnte, um ein gefährliches Steigern des Druckes zu verhindern, und ferner ist zu berücksichtigen, dass ein Strahl trocknen Dampfes über dem Feuerrost eher die Folge haben wird, das Feuer anzublasen als auszublasen, und wenn wir dem Zeugniss von Kesselheizern Glauben schenken dürfen, so ist dies wirklich der Fall, strömt aber statt trocknen Dampfes feuchter Dampf oder gar Wasser auf den Rost, wie dies in den meisten Fällen vorkommen wird, so wird nicht nur ein sehr deutlicher Warnruf gegeben, sondern die Verbrennung sehr bedeutend beeinträchtigt werden, und somit der Druck sich sehr bald verringern.

Manometer.

Ausser einem zuverlässigen selbstthätigen Apparate zur Verhütung der Ansammlung einer übergrossen Dampfmenge ist es nothwendig, am Kessel einen Apparat zu haben, welcher jederzeit die Dampfspannung im Innern anzeigt; zu diesem Zwecke dienen die Manometer. Man benutzt für Dampfmanometer meist nur zwei verschiedene Arten, das Quecksilbermanometer und das Metallmanometer. Von beiden ist eine grosse Varietät im Gebrauch, jedoch findet man die Quecksilbermanometer, besonders bei kleinen Anlagen, heute nur noch selten, weil dieselben sehr unhandliche Dinge sind, besonders für hohen Druck, und die Metallmanometer nach Bourdon's und anderen Systemen mit fast absoluter Genauigkeit und Zuverlässigkeit angefertigt werden. Die einfachste Form des Quecksilbermanometers ist eine U-förmig gebogene Röhre, in welcher sich Quecksilber befindet; dieselbe ist an einem Ende offen, am anderen mit dem Dampfraum verbunden, und aus dem Niveauunterschiede des Quecksilbers in den beiden Schenkeln ergiebt sich der Druck des Dampfes. Ist der Dampfdruck zu hoch, so treibt derselbe das Quecksilber aus dem oben offenen Rohr heraus, jedoch darf man auf diese Anordnung nicht wie auf ein Sicherheitsventil rechnen, da schon des hohen Quecksilberpreises halber die Rohre viel zu klein gewählt werden, um dem Dampf einen hinreichenden Ausweg zu gestatten.

An Stelle der Glasrohre, welche leicht zerbrechlich und in hinreichenden Längen von genau gleichem Querschnitt

schwer zu erhalten sind, wendet man oft Eisenrohre an, muss jedoch dann auf der Oberfläche des Quecksilbers einen Schwimmer anbringen, der, mit einem Draht verbunden, auf irgend welche Weise aussen den Stand des Quecksilbers anzeigt. Natürlich führt dies zu Complicationen, und bei den heute gebräuchlichen hohen Dampfspannungen sind Quecksilbermanometer fast gänzlich ausser Gebrauch getreten. Würde man doch für einen Druck von 8 Kilo ein Rohr von 6 m Höhe nöthig haben.

Sind beide Schenkel von gleichem Querschnitt, so steigt das Quecksilber auf der einen Seite ebensoviel als es auf der anderen fällt. Ein Niveauunterschied von 760 mm entspricht dem Druck einer Atmosphäre, tritt jedoch der Dampf in den einen Schenkel ein, so condensirt sich hier meist eine Wassersäule, und soll man bei der Eintheilung der Scala dieser Manometer stets das Verbindungsrohr bis zum Kessel mit Wasser füllen und dann den Stand im anderen Rohre mit 0 bezeichnen. Durch Erweiterung des einen Schenkels kann man die Scala so weit reduciren, dass sie leicht übersehen werden kann, die Erweiterung des anderen, nennen wir ihn Druckschenkel, wird oft sehr weit getrieben, und entsteht dann aus dem Hebermanometer das Gefässmanometer; diese Anordnung wendet man an, um nicht den Niveauunterschied, sondern nur die Höhe des Quecksilbers in einem Rohre zu berücksichtigen, allerdings begeht man hierbei einen Fehler, der jedoch um so kleiner wird, je grösser der Unterschied der beiden Querschnitte ist. Macht man den Querschnitt des Gefässes 100 mal so gross als den des Rohres, so ist der begangene Fehler nur 1 Proc. und darf füglich vernachlässigt werden. In grösseren Fabrikanlagen, wo hinreichend Platz vorhanden ist und man die Kosten nicht scheut, ist die Aufstellung eines oben offenen Quecksilbermanometers zu empfehlen. Man verbindet dasselbe mit allen Kesseln und benutzt es nur gelegentlich, um die Genauigkeit der an jedem Kessel befindlichen Metallmanometer zu controliren. Die oben geschlossenen Quecksilbermanometer, deren Wirkung darauf beruht, dass die Luft durch den zweifachen Druck auf das halbe Volumen comprimirt wird und so fort, werden ihrer Unsicherheit wegen heute fast nie mehr gefunden. Zuweilen drängen sich in diese Luftblasen hinein, oder ein Theil der Luft wird durch die Oxidation des Quecksilbers verzehrt und das Manometer wird in Folge dessen ungenau.

Weit verbreiteter und für alle beweglichen Kessel völlig unentbehrlich sind die Metallmanometer, und unter diesen wahrscheinlich die Bourdon'schen. Die Wirkung dieser Manometer beruht darauf, dass ein flach gepresstes Metallröhrchen durch inneren Druck einen mehr cylinderförmigen Querschnitt anzunehmen strebt und hierdurch die Gestalt der ganzen Rohrlänge etwas ändert. Das fast einen Ring bildende Röhrchen ist an einem Ende befestigt und mit dem vom Kessel ausgehenden Druckrohre verbunden, am anderen Ende geschlossen und frei beweglich, theilt es seine Formänderung an ein Hebelsystem und durch Zahnsegment und Rädchen an einen Zeiger mit, der dann auf einer getheilten Scheibe den entsprechenden Druck angiebt.

Eine andere Construction von Metallmanometern ist die von Schäffer & Budenberg in Buckau-Magdeburg, hier wirkt der Dampfdruck auf eine gewellte Stahlplatte und biegt dieselbe je nach seinem Druck mehr oder weniger durch. Auf der Stahlplatte befindet sich durch Kugelgelenk verbunden eine Verbindungsstange, die die Bewegung der Platte durch Zahnsegment und Rädchen einem Zeiger mittheilt. Auch führt man von der Bourdon'schen Form eine Modification aus, bei welcher das Röhrchen in der Mitte befestigt und mit dem Kessel verbunden ist und beide Enden sich frei bewegen können. Durch Hebelanordnung wird diese Bewegung ähnlich wie in den anderen Systemen auf den Zeiger übertragen.

Welche Form dieser Manometer man nun auch anzuwenden vorzieht, man sehe stets darauf, dieselben von einer renommirten Firma zu beziehen. Hat man in einem Kesselhause zwei, so wird man bald im Stande sein, deren Genauigkeit selbst zu prüfen. Die Manometer, bei denen der Zeiger nicht durch die Mitte, sondern am unteren Ende durch die Scheibe tritt, sind deshalb vorzuziehen, weil der Zeiger nie die Scala überlaufen kann, ein Vorfall, der zuweilen vorkommt und schon zu den allergefährlichsten Explosionen geführt hat. Auch bedarf man in diesem Falle keiner Stifte am Ende der Scala, gegen und hinter welche sich der Zeiger zuweilen setzt und keinen Druck anzeigt, wenn der Kessel schon längst Dampf hat. Bei der Befestigung dieser Manometer sehe man darauf, dass man stets zwischen diesem und dem Kessel eine Wassersäule hat, was durch gebogene Röhren leicht erreicht werden kann. Die Temperatur der inneren Theile bleibt

dadurch eine niedrigere, und das Manometer wird sich länger halten und genauer den Druck anzeigen.

Um im Falle des Untauglichwerdens unter Druck ein Manometer vom Kessel entfernen und ein anderes anbringen zu können, ist es nöthig, einen Hahn zwischen beiden einzuschalten. Manche Fabrikanten unterlassen dies aus der Ursache, dass durch zu plötzliches Oeffnen des Hahnes bei hohem Druck das Manometer zerstört werden kann, in allen Fällen hat man jedoch eine leicht lösbare Verschraubung anzubringen. In einer Reihe von Kesseln, selbst wenn dieselben verbunden sind, habe jeder Kessel ein Manometer. Diese müssen nie an einem Dampfrohr oder anderem Platze befestigt werden, wo der Dampf in schneller Bewegung ist, weil sie dann unmöglich den richtigen Druck anzeigen können. Der beste Platz ist direct am Kessel durch ein Rohr mit demselben verbunden dem Kesselwärter stets vor Augen, aber so angebracht, dass es nicht leicht zufällig beschädigt werden kann.

Wasserstandszeiger.

Es ist von der grössten Bedeutung, an Dampfkesseln einen Apparat zu haben, welcher jederzeit den genauen Wasserstand angiebt, oft von grösserer Bedeutung als selbst das Sicherheitsventil und Manometer.

Wenn, besonders in Kesseln mit innerer Feuerung, das Wasser zu niedrig sinkt, so ist die Gefahr des Ueberhitzens vorhanden, steigt dagegen der Wasserstand zu hoch, so treten Unannehmlichkeiten durch Aufwallen und Hinwegreissen des Wassers mit dem Dampfe auf.

Die Apparate, welche gewöhnlich benutzt werden, um den Wasserstand anzuzeigen, sind Wasserstandsgläser, Probirhähne und Schwimmer.

Die Probirhähne oder Ventile der verschiedensten Constructionen sind ohne Zweifel die ältesten und am häufigsten benutzten Apparate für diesen Zweck. Gewöhnlich werden zwei angebracht, der eine im höchsten, der andere im niedrigsten Wasserstande. Steht demnach das Wasser zwischen beiden, wie es im gewöhnlichen Betriebe der Fall sein soll, so muss beim Oeffnen der obere Hahn Dampf, der untere Wasser ausströmen lassen, häufig findet man zwischen beiden

der genaueren Bestimmung des Niveaus halber noch einen dritten Hahn angebracht. In Kesseln mit ebenen Endflächen und innerer Feuerung werden die Hähne meist in die Endplatte eingeschraubt, oder, um den Einfluss der Bewegung des Wassers im Inneren des Kessels unschädlich zu machen, befestigt man dieselben oft an Röhren, welche derart im Kessel befestigt sind, dass sie von den Bewegungen des Wassers nicht beeinflusst werden. In Kesseln, welche rings herum vom Mauerwerk umgeben sind, muss man die Probirhähne entweder oben auf dem Kessel befestigen und Röhren bis zu den entsprechenden Niveaus herunterleiten, oder aber horizontale Röhren durch das Mauerwerk leiten. Bei letzterer Anordnung ist darauf zu achten, dass diese Rohre nirgends vom Feuer berührt werden, da das Wasser in denselben sonst leicht so stark ins Kochen geräth, dass man keinen sicheren Anhalt über den Wasserstand bekommt. Der Umstand, dass Probirhähne niemals den Wasserstand genau und stets erst dann anzeigen, wenn man dieselben öffnet, hat zur Construction einer grossen Anzahl von Wasserstandszeigern geführt, welche automatisch jederzeit den Wasserstand angeben. Die einfachsten derartigen Apparate bestehen aus einem Glasrohr, welches oben und unten mit dem Kessel communicirt; das Wasser wird dann in dem Glase auf derselben Höhe stehen wie im Kessel. Um ein Auswechseln und Reinigen sowie Abstellen, im Fall das Glas zerbricht, zu gestatten, müssen die Verbindungen zwischen Glas und Kessel mit je einem Absperrhahn versehen sein, ferner habe der Apparat einen dritten Abblasehahn, mit Hülfe dessen das Wasser aus demselben entfernt werden kann, und nöthigenfalls das Glas gereinigt, ohne es aus dem Apparate zu entfernen. Dieser Abblasehahn habe stets ein hinreichend weites Rohr, durch welches das Wasser in den Aschenfall abgeführt wird, anderenfalls wird dasselbe stets gegen die Frontplatte geblasen und giebt zum Rosten der Bleche Anlass. Man muss die Wasserstandszeiger so anordnen, dass man jederzeit, selbst wenn der Kessel im Betriebe ist, die Dampf- und Wasserrohre mit Hülfe eines Drahtes reinigen kann, und muss zu diesem Zwecke der Rohröffnung gegenüber eine leicht lösbare Verschraubung angebracht werden. Ein Fehler, den man häufig findet, ist der, dass die Dampf- und Wasserrohre und Canäle, besonders in den Hähnen, zu klein ausgeführt werden, sie sollten nie weniger als 12 mm Durchmesser haben.

An vielen Constructionen findet man den Abblasehahn kleiner als die Dampf- und Wasserhähne, trotzdem letztere täglich vielleicht zwei oder drei Mal, ersterer aber sehr oft benutzt wird. Ist dieser Hahn zu klein, so ist er fast stets undicht, und selbst beim Oeffnen, besonders wo mineralhaltiges Wasser angewandt wird, spritzt das Wasser und der angesammelte Schlamm überall herum. Man kann das Undichtwerden von diesen Hähnen bei einigermaassen ausreichendem Durchmesser dadurch verhindern, dass man den Hahn so einrichtet, dass er eine ganze Drehung erlaubt. Man mache die Händel dieser wie aller anderen Hähne an Kesseln, wo dieselben oft warm werden und die Hähne sich festsetzen, hinlänglich lang und stark, und überziehe sie mit Holz oder Leder, damit zum Oeffnen nicht die Anwendung eines Hammers nöthig wird. Es ist anzurathen, des Nachts die Hähne zu schliessen, damit nicht, während Niemand zugegen ist, das Wasserglas springt und der Kessel bis zum Niveau des Glases ausläuft. Der in Deutschland vorschriftsmässige, niedrigste Wasserstand ist für stationäre Kessel 100 mm über der höchsten, vom Feuer berührten Stelle, und nur in wenigen Fällen ist es nöthig, diesen Wasserstand zu erhöhen. In Locomotiven findet man häufig das Wasserglas so angeordnet, dass der niedrigste Wasserstand nur etwa 75 bis 80 mm über der Feuerstelle ist, jedoch ist hier vielleicht wegen der steten Wachsamkeit von zwei Personen eine geringere Höhe zulässig.

Bei Anwendung schlechten Speisewassers, oder wo Soda in grösserer Menge benützt wird, ist das Wasser im Glase oft sehr unruhig in Folge von Wasser, welches durch das Dampfrohr eintritt; dieses lässt sich leicht dadurch beseitigen, dass man das Rohr nach innen etwas in die Höhe biegt, und somit das Hineinkochen des Wassers verhindert. In Kesseln mit Vorfeuerung ist die Anbringung der Wasserstandsgläser oft mit einigen Schwierigkeiten verbunden, weshalb einige Fabrikanten vorn am Kessel einen Stützen anbringen, der nach dem deutschen Kesselgesetz nicht weniger als 60 Quadratcentimeter Querschnitt haben soll, also wenn rund etwa 90 mm Durchmesser haben würde. Dieser Durchmesser ist in fast allen Fällen ein zu geringer und ein Stutzen aus Schmiedeeisen, gross genug, um beide Flantschen des Wasserstandsglases direct daran befestigen zu können, also ungefähr von 450 mm Durchmesser, zu empfehlen.

In einem solchen Stutzen verhält sich auch, wenn er gegen die directe Einwirkung der Flammen gesichert ist, das Wasser

ziemlich ruhig, und man kann daran gleichzeitig die Probirhähne anbringen. Will man dies nicht thun, oder ist die Anordnung der Feuerung derartig, dass sich ein solcher Stutzen nicht anbringen lässt, so thut man gut, zwei an den Kessel genietete und mit Flantschen zur directen Befestigung des Wasserstandsapparates versehene Rohre anzuwenden.

Jedem dieser Rohre gebe man dann einen Durchmesser von etwa 90 mm.

Es ist stets rathsam, an einem Kessel zwei Wasserstandszeiger zu haben, im Falle einer untauglich wird und auch, weil dieselben sehr von den Bewegungen des Wassers im Kessel beeinträchtigt werden, ist es sicherer, zwei Apparate zu besitzen. Der beste Platz für dieselben ist vorn dicht bei der Feuerung, wo der Wasserstand stets von dem Heizer gesehen werden kann.

Eine Anzahl Constructionen mit Glasplatten und Glasprismen haben bis jetzt wenig Anwendung gefunden, die Platten haben den Nachtheil des leichteren Zerspringens und sind auch gewöhnlich schwieriger zu reinigen. In neuerer Zeit sind Glasrohre in den Markt gebracht worden, die hinten einen milchweissen Streifen im Glase selbst eingeschmolzen haben, dieselben haben den Vortheil, den Wasserstand mit grösserer Leichtigkeit bei jedem Lichte zu zeigen, ein Umstand, der sehr wichtig ist, weil man in den gewöhnlichen Gläsern, besonders bei schmutzigem Wasser, den Wasserstand oft kaum sehen kann.

Ausser den Wasserstandsgläsern und Probirhähnen sind verschiedene Constructionen von Schwimmern, manche mit Dampfpfeifen verbunden, im Gebrauch, welche den Wasserstand anzeigen und bei niedrigem Stande Alarm geben. Die gewöhnliche Schwimmeranordnung ist ein Schwimmer im Kessel an einem Draht aufgehängt, der in eine Kette ausgehend und über eine Führungsrolle laufend, aussen ein Gegengewicht trägt. Bei anderen Constructionen ist das Gegengewicht innerhalb des Kessels. Die meisten dieser Schwimmer leiden an dem Uebelstande, dass eine Verbindung zwischen dem Inneren durch eine Stopfbüchse hergestellt werden muss, der durch diese gehende Draht oder sonstige Theil setzt sich darin leicht fest und der Apparat zeigt den Wasserstand in Folge dessen falsch an. Wo man diese Schwimmer anwendet, sehe man darauf, dass die durch die Stopfbüchse gehenden Theile nicht aus Eisen angefertigt sind, und möglichst geringen Durchmesser haben, wenn nur auf Zug beansprucht, weil man dann

ohne Hanfpackung und dergleichen eine Dichtung erreichen kann. Man bringe die Schwimmer, deren ein Kessel stets zwei haben sollte, in einer solchen Lage an, dass sie von dem heftig kochenden Wasser möglichst wenig beeinträchtigt werden, und können die Schwimmer, wenn vorsichtig behandelt und in gutem Zustande erhalten, sehr sichere Wasserstandszeiger sein.

Abblasevorrichtung.

Der Abblaseapparat dient nicht nur zum gänzlichen Abblasen des Kessels, sondern auch um gelegentlich in geringeren Zwischenräumen Schlamm und schmutziges Wasser aus dem Kessel zu entfernen. Es ist schon aus diesem Grunde von Wichtigkeit, dass der Apparat zugänglich ist und sich leicht öffnen und schliessen lässt. Da derselbe stets an der tiefsten Stelle des Kessels angebracht und mit einem Abblaserohr verbunden ist, so ist es von grosser Wichtigkeit, dass derselbe vollkommen dicht schliesst und dass eine Täuschung, ob offen oder geschlossen, unmöglich sei, da sonst leicht ein beträchtlicher Theil des Wassers aus dem Kessel auslaufen und zu gefährlichen Folgen führen kann, ehe es bemerkt wird.

Ventile lassen sich im Allgemeinen weit leichter öffnen und schliessen als Hähne, selbst von besseren Constructionen, jedoch sind sie nicht so zuverlässig und deshalb weniger angewandt. Alle Ventile haben fast denselben Fehler, ob conische, ebene oder Scheibenventile, nämlich den, dass eine Täuschung leicht möglich ist, ob dieselben ganz geschlossen sind oder nicht. Ein kleiner Span oder ein Stückchen Kesselstein können sich zwischen die Ventilsitze klemmen, und dasselbe ist dann, trotzdem es fest niedergeschraubt ist, doch offen. In Schieberventilen sammelt sich oft unten im Gehäuse eine solche Quantität Schlamm an, dass das Schliessen unmöglich wird. Natürlich kann bei besonderer Aufmerksamkeit ein solches Versehen unmöglich gemacht werden, merkt man sich beim Oeffnen die Anzahl der Umdrehungen des Ventilrades und zeichnet sich die genaue Stellung des Handrades, wenn geschlossen, auf, so ist man allerdings sicher, aber wo findet man immer so vorsichtige Arbeiter, dass man absolut darauf rechnen könnte, dass diese so nothwendige Vorsicht gebraucht wird. Aus diesem Grunde ist es rathsam, Ventile nicht anzuwenden.

Nachdem ein Kessel gereinigt worden und wieder frisch angefüllt ist, setzt der Heizer oft das Feuer in Brand und überlässt dann den Kessel während einer Stunde oder mehr sich selbst. Ist nun der Abblaseapparat nicht richtig geschlossen gewesen, so entweicht das noch verhältnissmässig kalte Wasser ohne Druck und ohne Geräusch, wird in Folge dessen nicht bemerkt, und oft hören wir von Explosionen, die in unerklärlicher Weise kurz nach dem Anheizen stattgefunden haben. Die Ursache ist in diesem Falle leicht erklärt, das Wasser sinkt bis das Flammenrohr entblösst liegt und beim Ueberhitzen schliesslich zusammengepresst wird.

Es giebt allerdings einige Arten von Ventilen, bei denen ein Versehen über das Offen- oder Geschlossensein so leicht nicht vorkommen kann, und diese sind für Abblaseapparate wenigstens ebenso sehr zu empfehlen wie die verpackten Hähne, jedoch sind die einfachsten und sichersten die gewöhnlichen Hähne mit conischem Küken. Ueber die Conicität dieser Hähne existiren sehr verschiedene Ansichten, manche sprechen für ein Verhältniss von 1 zu 4, andere empfehlen 1 zu 6. Erstere sind schwieriger dicht zu erhalten, letztere setzen sich leichter fest, wenn sie fest nieder geschraubt werden, um eine gute Dichtung zu erzielen. Es hängt der Conus für diese Hahn-Küken sehr wesentlich ab vom Dampfdruck, der Härte des Metalls, dem Schmiermittel und von der Härte des Wassers. Für Druck von 1 bis $2^1/_2$ kg sind die Küken mit 1 zu 4 zu empfehlen, für Druck von 6 bis 8 kg ist es jedoch nöthig, ein Verhältniss von 1 zu 6 zu benutzen, um Dichtheit sichern zu können.

Am meisten Unannehmlichkeit hat man mit Hähnen durch das Festsitzen derselben, besonders wenn dieselben nicht häufig benutzt werden und das Wasser sehr mineralhaltig ist. Eine andere Ursache, die oft beim Schlammabblasen das Schliessen erschwert, ist, dass das Küken sich schneller erwärmt als das Gehäuse, und in Folge dessen sehr festsitzt. Dieser letztere Umstand lässt sich umgehen, wenn man den Hahn nicht plötzlich öffnet, sondern mehrmals hin und her dreht, so dass das Gehäuse und Küken gleichzeitig warm werden. Am unangenehmsten wirkt die ungleiche Ausdehnung, wenn das Gehäuse aus Gusseisen und der Hahn aus Rothguss angefertigt ist, und sollte diese Construction deshalb gänzlich unterbleiben. Leider findet man die Hähne selten hinreichend hart genug, um sich gut zu halten, dieselben sind zu oft aus Rothmessing statt aus

Bronze angefertigt, weil sich ersteres besser bearbeiten lässt und billiger ist. Metalle von gleicher Härte und gleicher Zusammensetzung, wenn längere Zeit unter Druck zusammengebracht, setzen sich sehr fest aneinander, und zwar nimmt diese Eigenschaft zu, je weicher die Metalle sind. Man thut deshalb gut, die Ventilgehäuse und die Küken aus verschiedenen Legirungen herzustellen, die Küken, weil sie leichter auszuwechseln sind, weicher. Gewöhnlich findet man Abblasehähne zu kurz hergestellt, um sich gut halten zu können; dieselben verlangen häufiges Nachschleifen und werden dadurch bald untauglich; diesem kann man dadurch etwas vorbeugen, dass man Absperrhähne nicht nur um einen Viertelkreis dreht, wie dies gewöhnlich geschieht, sondern das Oeffnen und Schliessen in derselben Drehungsrichtung vornimmt, wodurch der Hahn eine weit gleichmässigere Abnutzung erfährt und länger dicht bleibt.

Da Abblasehähne gewöhnlich in ziemlich versteckten und unzugänglichen Plätzen angebracht werden müssen, so sollten dieselben ganz besonders vorsichtig hergestellt sein, um möglichst wenig Aufsicht nöthig zu machen, statt dessen findet man gerade diesen wichtigen Apparat zu oft in sehr vernachlässigtem Zustande. Ein Umstand soll hier noch erwähnt werden; wird das Küken bloss durch eine Mutter befestigt, so kann sich diese mit der Zeit losarbeiten und das Küken dann plötzlich herausgeblasen werden, was schon sehr gefährliche Verbrühungen verursacht hat; es ist deshalb nöthig, unter der Mutter eines jeden Abblasehahnes einen Stift anzubringen, der das gänzliche Abfallen der Mutter verhindert. Viele der besseren Fabrikanten benutzen auch verpackte Hähne, ob aber diese wirklich vor den einfachen, alt gebräuchlichen Hähnen den Vorzug verdienen, soll dahingestellt bleiben. Bei diesen verpackten Hähnen kann ein Lecken, ähnlich wie bei Ventilen, leicht vorkommen ohne bemerkt zu werden, ein Fehler, der, wie schon erwähnt, zu gefährliche Folgen haben kann, als dass er übersehen werden dürfte. Auch haben diese Hähne noch andere Mängel mit den Ventilen gemeinsam; vor dem Oeffnen löst man des leichteren Drehens halber oft die Muttern, während des Abblasens setzt sich im Gehäuse etwas Schlamm oder Kesselstein ab, und wenn man den Kegel wieder dicht schraubt bemerkt man nicht, dass ein Hinderniss im Wege ist und der Hahn leckt. Ein solcher Umstand kann bei dem gewöhnlichen Hahn nicht vorkommen. Constructionen von

Hähnen mit hohlen Küken, die durch das Küken abblasen, sind zu vermeiden, solche Hähne mögen in geringen Dimensionen und unter günstigen Umständen sehr gute Dienste leisten, zum Kesselabblasen taugen sie nicht. Den Abblaseapparat so anzuordnen, dass das Wasser aus dem Hahn direct in eine nach dem Schmutzwassercanal mündende Rinne läuft, die oft nur wenige Centimeter unter dem Kesselniveau liegt, ist entschieden zu verdammen, weil dabei sehr leicht das Wasser überall herum gespritzt wird und seinen Weg in die Züge findet, auch füllt sich beim Abblasen das Kesselhaus mit Dampf; wo es dagegen ausführbar ist empfiehlt es sich, das Abblaserohr so anzuordnen, dass es ausserhalb des Gebäudes in eine offene Rinne fliesst, damit man ein Lecken des Hahnes leicht entdecken kann. Da von dem gelegentlichen Abblasen des Schlammwassers aus dem Kessel, und der richtigen Handhabung des Abblasehahns das Wohl und Wehe des Kessels in hohem Grade abhängig ist, so sollte dasselbe täglich wenigstens einmal von dem Maschinisten besorgt, und nicht dem Heizer überlassen werden.

In Röhrenkesseln muss man den Abblasehahn vor die Kesselfront legen und ihn durch ein kurzes Ellbogenstück mit der tiefsten Stelle des Kessels verbinden. Das Rohr und der Hahn müssen so angeordnet sein, dass sie vor Feuchtigkeit und Asche geschützt sind, feuchte Asche führt zu sehr schneller Oxydation, und findet man oft Abblaseapparate fast gänzlich durchgerostet, ohne dass der Wärter diesen gefährlichen Zustand bemerkt hätte. In Kesseln nach Art der Locomotiven bietet die hintere Feuerkistenwand einen sehr geeigneten Platz für den Abblasehahn.

Noch heute findet man bei Kesseln mit äusserer Feuerung häufig keine andere Vorrichtung zum Abblasen, als einen conischen Eisenbolzen, der in ein über dem Feuer befindliches Loch getrieben ist. Durch Herausschlagen dieses Bolzens wird der Kessel entleert; sitzt dieser nun fest und in einem wenig zugänglichen Platze, so wird es einleuchten, dass der betreffende Arbeiter sich gefährlich verbrühen kann, wenn er sich nicht schnell genug zurückzieht. In manchen Fällen findet man diesen Bolzen an einer Spindel befestigt, die durch eine Stopfbüchse oben im Kessel geht; bei solchen Anordnungen muss die Spindel durch eine Spule oder einen Stift daran verhindert werden, sich ganz durch die Mutter schrauben zu lassen, sonst wird beim Abblasen unter Druck der Kesselwärter

leicht verbrüht. Wo irgend zu umgehen, und wir bezweifeln die Nothwendigkeit überhaupt, vermeide man diesen Bolzen-Abblaseapparat, der in seiner besten Form nur unvollkommen, und in seiner einfachen Form ein Ablassen von Schmutzwasser unmöglich macht. Eine andere Einrichtung, die man häufig findet, zuweilen gleichzeitig mit dem conischen Bolzen ist ein von oben her in den Kessel einlaufendes Rohr, welches bis dicht an den Boden reicht. Zum Entfernen von Schlammwasser darf diese Anordnung gebraucht werden, aber zur gänzlichen Entleerung des Kessels, da dies stets unter Druck geschehen müsste, ist sie nicht zu empfehlen, besonders nicht bei Kesseln mit äusserer Feuerung, die mit viel heissem Mauerwerk umgeben sind. In den meisten Kesseln mit äusserer Feuerung ist es am besten, am Kesselboden in einem geeigneten Platze ein Rohr anzunieten und dies durch das Mauerwerk zu leiten, wo man dann aussen den Abblasehahn daran befestigt. Dies Rohr darf nicht zu enge, und muss gänzlich vom Mauerwerk umgeben sein, sonst setzt es sich besonders bei schlechtem Wasser voll Kesselstein, der darin festbrennt. Man mache diese Verbindungsrohre nicht unter 50 mm Durchmesser und Abblasehähne nicht unter 35 mm. Bei einer derartigen Anordnung ist es höchst wichtig, den Abblaseapparat täglich zu probiren. Ueber Apparate zum Abblasen von Oberflächenunreinigkeiten wird später im Capitel über Kesselstein noch gesprochen werden.

Mannlochdeckel.

Es lässt sich vielleicht kein besseres Maass für Unverstand oder grobe Fahrlässigkeit eines Kesselfabrikanten aufführen, als die Anzahl von Kesseln, welche mit Mannlöchern ohne Verstärkung die Fabrik verlassen. Die leider zu allgemeine Methode, ein Stück von etwa 30×40 cm aus der Kesselplatte auszuschneiden, ohne die Kante des so entstandenen Loches, in welcher sich die Inanspruchnahme concentrirt, und wo das Blech weiter durch Rosten geschwächt wird, in irgend welcher Weise ausreichend zu verstärken, kann nicht streng genug getadelt werden und hat schon zu vielen höchst unheilvollen Explosionen Veranlassung gegeben. Das Blech hat an der Kante des Mannloches nicht nur die durch den Dampf-

druck verursachte Spannung zu ertragen, sondern ausserdem noch die oft gefährlicheren Folgen des Anschraubens des Deckels. Letzterer, oft ebenfalls schwach und schlecht angepasst, leckt häufig, dann bleibt dem Heizer nichts weiter übrig, als die Schrauben, von ein oder zwei Bügeln getragen, aufs Aeusserste anzuziehen, und es ist schliesslich nur eine Frage der Zeit und der zum Anschrauben verwendeten Kraft, wann das Kesselblech verbogen oder durch Risse senkrecht zur Lage der Bügel noch gefährlicher beschädigt wird; meist sind die Mannlöcher so angeordnet, dass gerade in dieser Richtung die Risse für das Bestehen des Kessels am allergefährlichsten sind. In Kesseln, welche sich in regelmässigem Betriebe befinden, findet man zuweilen Mannlöcher, die am Umfange in mehreren Stellen eingerissen sind, und es ist zu verwundern, dass nicht schon längst ein Unfall vorgekommen, der jedoch früher oder später durch weiteres Reissen oder zufälligen etwas höheren Druck nicht ausbleiben kann. In einigen Lumpenkochern findet man unverstärkte Mannlöcher von 60 × 90 cm.

Diese Mannlöcher lassen sich auf sehr einfache und wirksame Weise durch einen untergenieteten schmiedeeisernen Ring verstärken, man findet dergleichen Ringe auch häufig, meist jedoch zu schwach. Für die gewöhnliche Grösse eines Mannloches sollte man dieselben 20 mm dick und 100 mm breit machen, die Niete etwa 75 mm entfernt halten. Bei diesen Dimensionen kann man die nothwendige Verstärkung erreichen und die Nietlöcher sind hinreichend weit von der Kante entfernt. Im günstigsten Falle sind diese nach dem Kesselradius gebogenen Mannlochdeckel jedoch unzuverlässig, schwer zu dichten und zu handhaben, und sollten deshalb überhaupt nicht angewendet werden.

Eine weit bessere Methode ist hier, wie in allen anderen Fällen, jedes am Kessel befestigte Armaturenstück, wenn nicht daran vernietet und verstemmt, auf einen ebenen Sitz zu schrauben. Für Mannlöcher giebt es eine grosse Anzahl verschiedener Constructionen in Guss und Schmiedeeisen, und ist letzteres stets vorzuziehen; Experimente haben erwiesen, dass im Falle eines Berstens, selbst bei Kaltwasserdruck, die Folgen bei Anwendung von gusseisernen Mannlöchern weit gefährlicher sind, als bei Schmiedeeisen, auch kann man auf die Sicherheit eines Gussstückes nie so vollkommen trauen. Wird dasselbe jedoch angewandt und für gewöhnlichen Druck im Kessel, von 4 bis 5 Atmosphären ist es gern zulässig, beson-

ders wenn so angebracht, dass es plötzlichen Spannungen nicht ausgesetzt ist, wie bei Mannlöchern, so achte man darauf, dass dasselbe rund hergestellt werde, etwa 40 bis 50 cm im Durchmesser, wenigstens 25 mm Wandstärke und im unteren gewölbten Flantsch, der an den Kessel genietet wird, 40 bis 50 mm dick. Der obere Flantsch wird bearbeitet und der Deckel durch Schraubenbolzen befestigt. Derartige gusseiserne Mannlochrahmen werden ungefähr 170 mm hoch. Wie schon erwähnt besser, und für hohen Dampfdruck von 6 und mehr Atmosphären stets anzuwenden, sind schmiedeeiserne Mannlochrahmen, und wenn einmal darauf eingerichtet, lassen sich diese um ein sehr Geringes theurer herstellen als gusseiserne.

Schlammlöcher.

Alle Cylinderkessel mit zwei Flammenrohren sollten an der Stirnwand dicht am Boden ein Schlammloch haben; dasselbe erleichtert nicht nur das Reinigen ganz erheblich, da sonst aller Schlamm und Kesselstein durch das Mannloch entfernt werden müsste, sondern beschleunigt auch nach dem Abblasen des Kessels das Abkühlen und erleichtert in Folge dessen die ohnehin beschwerliche Arbeit im heissen Kessel, besonders wenn der Raum im Innern noch durch Verstärkungsringe an den Flammenrohren, Ankern und dergleichen verengt wird. In allen Kesseln mit zwei Flammenrohren sind diese Schlammlöcher am besten von grösseren Dimensionen anzubringen, in Kesseln mit einem Flammenrohr dagegen muss man sich meist mit einem Loche von ungefähr 80 bei 120 mm oder dergleichen begnügen, und die Deckel werden am besten durch eine kräftige Schraube und mittelst Bügel verschlossen, eine Construction, die hier vollständig ausreichend ist.

In Feuerbüchskesseln bringt man nahe am Boden an jeder Ecke ein Schlammloch an und sollte, wenn irgend thunlich, dies gross genug machen, damit ein Arbeiter mit dem Arm hineinfahren kann. Dies ist für das Reinigen sowohl als für die Untersuchung der Stehbolzen von grosser Wichtigkeit. In der Stirnwand solcher Kessel, meist dicht über der Feuerkastendecke, findet man oft Löcher von etwa 50 mm Durchmesser, durch einen eingeschraubten Pfropfen verschlossen, durch welche das Mundstück des Wasserschlauches in den

Kessel gebracht und dieser gehörig von Schlamm und losem Kesselstein ausgewaschen werden kann. Aehnliche Löcher sollten in der Rauchkastenrohrwand nahe am Boden angebracht werden, wenn für Schlammlöcher von grösserem Durchmesser kein Platz vorhanden ist. Alle diese Reinigungslöcher von geringen Dimensionen wie oben angegeben, haben einen Fehler, mit der Zeit wird das Gewinde in der Kesselwand beschädigt, theils durch eiserne Stäbe, die zum Losstossen des Kesselsteins hindurchgesteckt werden, theils durch Rost, und da ohnehin von dem Gewinde in den selten über 12 mm dicken Platten nur wenige Gänge vorhanden sind, so geben diese Verschraubungen sehr bald Anlass zu Mühen. Man verhindert dies am besten durch angenietete Mundstücke mit äusserem Gewinde, über die eine Kappe geschraubt wird.

Grössere Schlammlöcher kann man auch an Stelle der inneren Deckel durch ebene Platten von aussen verschliessen, wenn man um das Loch herum einen etwa 12 bis 15 mm dicken Ring nietet und in diesen Stifte einschraubt. Die Gefahr des Leckens durch Rost und dergleichen ist bei dieser Anordnung weit weniger zu befürchten, und die Dichtung leichter herzustellen, als bei den inneren Deckeln. In manchen Fällen sind allerdings die Schraubenstifte aussen im Wege.

In Kesseln nach Art der Locomotivkessel construirt, thut man, besonders bei schlechtem, mineralischem Speisewasser, gut, am Boden des cylindrischen Kesseltheils, etwa $^1/_3$ der Länge vom Feuerkasten aus, ein Schlammloch von grösserem Durchmesser, 200 bis 250 mm, anzubringen, und aussen an dies einen schmiedeeisernen Hals, der gleichzeitig zum Anschrauben des Deckels dient, anzunieten. In diesem Schlammtopfe sammelt sich sehr viel des Niederschlages und lässt sich somit leicht entfernen, auch kann man durch das Loch die Rohre von aussen reinigen und den losgewaschenen und losgekratzten Kesselstein entfernen. Im Deckel dieses Schlammtopfes bringe man einen Abblasehahn an. Kleine verticale Kessel und alle solche anderer Constructionen, welche nicht befahrbar sind, müssen besonders vorsichtig mit Schlammlöchern versehen werden; man hüte sich, zu viele Löcher in die Kesselwand zu schneiden, da ein jedes Anlass zum Lecken geben kann, jedoch bringe man deren genug an, um den Kessel gehörig reinigen zu können, da dieser Umstand für die Dauer des Kessels von grösster Bedeutung ist.

Dampfdome und Dampfbehälter.

Trotz der sehr verbreiteten Ansicht, dass der Dampfdom für die Erlangung trockenen Dampfes von grosser Wichtigkeit ist, und das Aufspritzen des Wassers verhindert, sollte derselbe als ein nutzloses und kostspieliges Anhängsel, und oft sogar als ein höchst gefährlicher Theil des Kessels betrachtet werden. Die beliebte Mode, in einen Kessel von 210 cm Durchmesser ein Domloch von 90 oder gar 105 cm, oder in einen Kessel von 120 cm ein solches von 60 cm zu schneiden, ohne in irgend welcher anderen Weise für die Verstärkung der so geschwächten Platte zu sorgen, als durch den Flantsch oder das Winkeleisen, mit dem der Dom befestigt ist, muss als geradezu unvernünftig und im höchsten Grade verdammlich bezeichnet werden. In vielen Fällen findet man den Dom so gross ausgeführt, als es die Kesselbleche gestatten, auf jeder Seite bleibt nur so viel Material stehen, als zur Ringnaht und Befestigung des Domes nöthig ist, ungefähr 120 bis 140 mm. Von diesem geringen Querschnitte erwartet man nun, dass er den in anderen Ringen auf die ganze Länge vertheilten Druck aushalte. In Folge dessen findet man viele Fälle, in denen der den Dom tragende Ring einzig durch die beiden anliegenden, diesen glücklicherweise überdeckenden Ringnähte zusammengehalten wird; wäre der Dom an einem der äusseren Ringe befestigt, so würde die so geschwächte Platte unfehlbar dem Drucke weichen müssen.

Wo der Dampfdom unbedingt nöthig ist, d. h. wo ihn der Käufer verlangt, ist es nicht nothwendig, die Platte mehr auszuschneiden, als dass ein Arbeiter durch das Loch in den Kessel gelangen kann; selbst in diesem Falle, besonders wenn der Sicherheitscoefficient gering ist, muss der Rand des Loches hinreichend verstärkt werden, was am einfachsten durch Aufnieten eines starken, schmiedeeisernen Ringes geschieht. Es muss allerdings zugegeben werden, dass je geringer der Durchmesser dieses Loches gemacht wird, je mehr vergrössert sich die Eigenschaft des Dampfes, Wasser mit sich fortzureissen.

Die dem Dampfdome zugeschriebenen Hauptvortheile sind:

1. Durch Vergrösserung des Dampfraumes dient derselbe als ein Dampfbehälter. 2. Soll derselbe besonders vortheilhaft gegen das Aufspritzen des Wassers wirken und also trockenen

Dampf liefern; da der Dampf im Dome weiter von dem Wasser entfernt ist, so nimmt man an, derselbe halte weniger Wasser suspendirt, besonders wenn man eine mit Löchern versehene Platte zum Aufhalten des Wassers darin angebracht hat.

Was nun den ersten Grund anbetrifft, so wird man bei einer sehr einfachen Berechnung sofort sehen, wie verhältnissmässig wenig ein Dom zum Dampfraum beiträgt. Nehmen wir z. B. einen Kessel von 2,10 m Durchmesser und 9 m Länge, so wird derselbe ungefähr 6,8 cbm Dampfraum enthalten. Ein Dom von 90 cm bei 90 cm auf diesem Kessel enthält nur 0,57 cbm, also nicht ganz 9 Proc., sicher zu wenig um von grossem Werthe sein zu können, und wenig mehr, als eine von diesem Kessel betriebene Maschine in einer Umdrehung an Dampf benutzen würde. Uebrigens darf man hierbei nicht vergessen, dass als Hauptdampfreservoir in einem Kessel nicht der Dampfraum, sondern das im Kessel befindliche erhitzte Wasser zu betrachten ist.

In Bezug auf den zweiten Punkt scheint die Ansicht die zu sein, dass, je höher man den Dampf einem Kessel über der stark bewegten Wasserfläche entnimmt, um so trockener wird derselbe sein. Ohne nun den kühlenden Einfluss der Atmosphäre auf den eine grosse Oberfläche bietenden Dom zu berücksichtigen, würde diese Annahme richtig sein, wenn der Dampf Zeit hätte, in aller Ruhe in den Dom einzuströmen und aus demselben heraus zu gelangen. Bei einem in vollem Betriebe befindlichen Kessel ist dies jedoch nicht der Fall, der Dampf fährt dann mit bedeutender Geschwindigkeit in und durch den Dom und führt sehr oft eine ganz beträchtliche Quantität Wasser mit sich fort, so dass der Dampf im Dom zuweilen feuchter ist als im oberen Kesseltheil. Das Aufschäumen und Aufspritzen wird, wenn nicht verursacht, so doch begünstigt durch Verringerung des Druckes, und dadurch verursachte stürmische Entwickelung des Dampfes aus dem Wasser, welches sich gerade unter dem Punkte befindet, von wo der Dampf entzogen wird. Dieses stürmische Aufkochen reisst das Wasser in Form eines feinen Regens mit sich fort, und nicht nur Wasser gelangt auf diese Art in das Dampfrohr, sondern alle möglichen feinen erdigen und Schmutztheilchen, die sich gerade an der Oberfläche befinden. In Kesseln, welche mit schmutzigem Wasser aus Canälen und anderen schlammigen Behältern gespeist werden, findet man zuweilen das Innere des Domes mehrere Centimeter dick mit Schlamm und

Schmutz überdeckt, während andere Theile des Dampfraumes gänzlich rein bleiben.

Aufspritzen des Wassers mag auch durch den über die Oberfläche zur Ausströmungsöffnung fliessenden Dampf verursacht werden, und würde dieser dann das Wasser ebenfalls mit sich fortreissen. Die verschiedenen Apparate, welche man in Kesseln angebracht hat, um trockenen Dampf zu erhalten, wie durchlöcherte Platten im Dom, oder eine Anzahl von Platten, um und über welche der Dampf zu streichen hat, und wo er sein Wasser absetzen soll, haben selten, wenn nicht sehr sorgfältig durchgeführt, den gewünschten Erfolg. Die einfachste und gleichzeitig wirksamste Methode das Mitreissen des Wassers durch den Dampf so viel wie möglich zu verhindern ist die, im Innern des Kessels ein durchlöchertes Rohr anzubringen. Man mache dies Rohr so lang wie möglich, nie unter 1,4 m, gebe ihm einen Durchmesser etwas grösser, als den des Ventils, schliesse beide Enden, und bohre oben eine Anzahl Löcher, deren Gesammtquerschnitt bedeutend grösser ist, als der Rohrquerschnitt. Dieses Rohr befestigt man nahe an der Oberkante des Kessels durch ein Mundstück, am besten in der Mitte des Rohres, oder an einer anderen bequemen Stelle, vergesse aber nicht, dasselbe mit einem kleinen Rohr zum Abfliessen des etwa eintretenden Wassers zu versehen, welches Rohr bis unter den Wasserspiegel zu verlängern ist. Je grösser der Gesammtquerschnitt der Bohrungen im Verhältniss zum Rohr, um so ruhiger und langsamer wird der Dampf einströmen, und wenn erst einmal im Rohre und vom Wasser abgesondert, wird die Geschwindigkeit der Bewegung keinen weiteren Einfluss haben. Die Verbindung dieses Rohres mit dem Kessel braucht nicht absolut dampfdicht zu sein, darf jedoch keine Oeffnung zeigen, sonst tritt der Dampf natürlich hier ein, und der Apparat ist nutzlos. In Plätzen, wo sehr schmutziges Wasser benutzt wird, verstopfen sich diese Löcher zuweilen, und der Apparat ist deshalb entfernt worden; man mache dieselben etwa 10 bis 12 mm im Durchmesser, und wird dann fast nie Ursache zur Klage finden. In einer Unzahl von Locomotiven- und stationären Kesseln wendet man diesen Apparat mit bestem Erfolge an, oft wo der Dampfraum ein sehr geringer ist. Man hüte sich, Löcher dicht an den Endplatten eines Kessels in dies Sammelrohr zu bohren, weil sonst leicht das an diesem aufspritzende Wasser in dieselben eintritt.

Entnimmt man den Dampf einem Punkte über dem Roste, oder wo sonst die Dampfentwickelung besonders lebhaft ist, so vergrössert man die Gefahr des Aufspritzens; andere Ursachen sind die Gegenwart von Fett, oder der übermässige Gebrauch von Soda. Neue Kessel, besonders Locomotivkessel, liefern nassen Dampf, bis sich die entweder reinen oder gar fettigen Bleche mit einer dünnen Kesselsteinschicht überzogen haben.

Ueber die Natur des Aufspritzens des Wassers ist man noch nicht völlig klar. Geschmolzener Talg oder Oel werden zuweilen in kleine Verticalkessel eingespritzt in der Absicht einen ähnlichen Erfolg zu zeigen wie Oel, welches auf die bewegte Oberfläche des Wassers gegossen wird, und trotzdem kann nicht geleugnet werden, dass gerade die Anwesenheit von Fett im Wasser gleichzeitig mit anderen Unreinigkeiten das Aufspritzen des Wassers begünstigt.

Wo Dampfdome angewandt werden, mache man das Loch im Kessel aus obigen Gründen gross, und verstärke es hinreichend, entweder durch einen Ring, oder durch Anker. Den Flantsch am Dom mache man breit genug, und wende doppelte Vernietung an, zuweilen findet man denselben durch einen aufgezogenen starken schmiedeeisernen Ring nahe am unteren Ende verstärkt.

In Locomotivkesseln sind Dampfdome sehr gebräuchlich, jedoch meist mehr zur Aufnahme des Sicherheitsventils aussen und des Absperrventils innen, als zum Ansammeln des Dampfes, da hier fast allgemein das oben beschriebene Rohr oder andere ähnliche Constructionen Anwendung finden.

Feuerthüren und Roste.

Zum Rost eines Kessels gehören meist: der Feuerthürrahmen mit Thüren und Schürplatte, die Roststäbe, Feuerbrücke und Aschenfallbeschläge. Ausser diesen findet man bei manchen Feuerungsanlagen noch besondere Vorrichtungen für mechanisches Feuern, Rauchconsumer und Reinigungsapparate.

In Kesseln mit äusserer Feuerung ist diese natürlich vom Kessel ganz unabhängig hergestellt. Die Vorfeuerungen wendet man für Steinkohlen nicht an, wohl aber in ziemlich bedeutender Ausdehnung für Braunkohlen, Torf und andere

Brennmaterialien. Bei denselben geht die strahlende Wärme theils verloren, jedoch erhält man in dem Vorraume eine bessere und vollkommenere Verbrennung und schont auch den Kessel mehr, weil derselbe der Stichflamme nicht direct ausgesetzt ist. Wo man den Feuerraum mit den Flammenrohren verbindet, setze man stets einen Ring von feuerfesten Steinen ein, und theile bei doppelten Flammenrohren den Rost, damit man auf dem einen wenigstens stets helles Feuer hat. Für erdige, sehr arme Braunkohle, Sägespäne und ähnliche Brennmaterialien werden Treppenroste angewendet. Bei Steinkohlenfeuerung, wo die strahlende Wärme von grosser Bedeutung ist, und der Rost kleiner, wendet man fast stets die innere Feuerung an, d. h. legt den Rost in die Flammenrohre. In letzterem Falle schliesst sich der Rahmen für die Feuerthüren dicht an die Vorderwand des Kessels an, man mache den Rahmen nur gerade so gross, als nöthig, um die Thüren bequem anbringen zu können. Diese Rahmen lassen sich sehr gut aus zwei Schmiedeeisenplatten herstellen; die eine befestigt man mit einigen Schraubenstiften an der Kesselstirnwand, und die andere, mit einer Luftschicht zwischen beiden, parallel hierzu in das Flammenrohr hinein ragend. Man lässt hierdurch die das Flammenrohr mit der Stirnwand verbindenden Niete zur Aufsicht frei, und kann mit Hilfe eines Messingringes dem Ganzen einen recht netten Abschluss geben. Diese Anordnung ist dem gusseisernen Rahmen, der die Stirnwand mehr oder weniger bedeckt, vorzuziehen, weil er auch dauerhafter ist. An der Vorderplatte sind natürlich die Thürkloben befestigt, und wird letztere in ähnlicher Weise aus zwei Platten mit Luftschicht zwischen beiden ausgeführt. In die vordere dieser Platten sind Luftlöcher mit einem Schieber anzubringen, damit man dem Feuer über dem Rost nach Belieben Luft zuführen kann. Es giebt eine Masse Erfindungen, dieses Oeffnen und Schliessen der Regulirungsschieber selbstthätig zu machen, jedoch sind dieselben meist zu complicirt, gerathen in Unordnung, und werden sehr bald ausser Gebrauch gesetzt. Natürlich muss man in der Schutzplatte correspondirende Löcher anbringen. Hinter der Feuerthür soll eine Schürplatte von ungefähr 30 bis 40 cm Breite angebracht sein; dieselbe dient zum Vorwärmen der Kohlen, und verhindert auch die zu grosse Erhitzung der Feuerthür und des Rahmens; auf dieser Schürplatte lagert meist das eine Ende der Roststäbe, während das andere von einem Gussstück getragen

wird, welches gleichzeitig den unteren Theil des Feuerraumes abschliesst, und die Feuerbrücke trägt. In diesem Gussstücke bringt man zuweilen nahe am Boden des Flammenrohres eine Oeffnung von 10 bis 15 cm Durchmesser an, durch welche sich die Flugasche besser aus dem Flammenrohr entfernen lässt. Natürlich muss diese Oeffnung im Betriebe verschlossen sein.

Die Roststäbe fertigt man meist aus Gusseisen, und findet dieselben in einer grossen Varietät der Form ausgeführt, theils der grösseren Haltbarkeit halber, theils weil man von allerhand eigenthümlich geformten, gerippten und dergleichen Roststäben bessere Verbrennungsresultate erwartet. Es ist wohl kaum nöthig, zu erwähnen, dass die meisten dieser Constructionen werthlose Spielereien sind, und man stets auf den alten Roststab zurückkommt. Man mache dieselben nicht zu lang, unter 1 m, wenn möglich; um den Zutritt der Luft sowohl als das Fallen der Asche und Schlacken zu begünstigen, und auch das Reinigen des Feuers zu erleichtern, mache man sie unten dünner wie oben; damit man jedoch denselben Zwischenraum beibehält, nachdem die Roststäbe etwas verbrannt sind, mache man sie circa 15 mm von oben parallel und nachher verdünnt. Für Steinkohlen sind Roststäbe von 18 bis 20 mm Dicke oben und circa 8 bis 10 mm unten am gebräuchlichsten, deren Höhe richtet sich nach der Länge, und betrage ungefähr $^1/_{10}$ der Länge. An beiden Enden sowie in der Mitte bringe man Verstärkungen an, durch welche die Entfernung eingehalten wird. Die Roststäbe müssen zwischen ihren Lagern ungefähr $^1/_{25}$ ihrer Länge Spielraum haben, sonst biegen sie sich beim Erhitzen. Auch seitlich erlaube man ihnen hinreichend Spiel. Das schnelle Verderben der Roststäbe durch Verbiegen und Verbrennen, welches man zuweilen antrifft, ist meist dadurch verursacht, dass auf irgend welche Weise die heissen Kohlen seitlich mit dem Roststabe in Berührung kommen. Verbogene Stäbe oder ein aus seiner Lage gehobener Stab können die Veranlassung sein. Man vermeide deshalb Stäbe, welche auf einer schiefen Kante aufliegen, dieselben liegen nicht fest, gerathen in Unordnung und heben sich aus der Ebene. So lange die kalte Luft mit dem ganzen Roststabe in Berührung ist, nutzt sich derselbe nur an der oberen Kante ab, und zwar sehr langsam, wenn nicht Kohlen benutzt werden, die mit sehr intensiver Hitze verbrennen, wie Anthracit. Der für bituminöse Steinkohle gebräuchlichste Luftraum zwischen den Stäben ist von

11 bis 13 mm, jedoch reducirt man diesen Luftraum mit Vortheil bei gutem Zuge, hinreichender Kesselgrösse und reiner guter Kohle. Für Anthracitkohle, welche im Feuer zerspringt und leicht durch die Roste fällt, würde man gut thun, diesen Raum zu schmälern, wenn nicht die Kohle auf der anderen Seite zur vollständigen Verbrennung ein bedeutendes Luftquantum brauchte, ausserdem verstopft diese Kohle auch den Rost leicht. In den Anthracitdistricten Pensylvaniens macht man die Roststäbe in Locomotivkesseln aus schmiedeeisernen Rohren, 50 mm äusserem Durchmesser, und setzt diese in Entfernung von 77 mm von Mitte zu Mitte, wodurch ein Zwischenraum von 27 mm entsteht. Diese werden auch in stationären Kesseln, nach dem Locomotivsysteme ausgeführt, benutzt, und kommen in Längen von 1,8 m in Anwendung. Dieselben werden in derselben Weise wie die Siederohre in den Feuerkisten befestigt.

Für berstende und viel Asche enthaltende Kohlen macht man die Zwischenräume bis zu 15 mm breit, und in manchen Fällen sogar mehr.

Für Braunkohlenfeuerung wendet man meist dünnere Roststäbe an, die Zwischenräume richten sich natürlich nach der Qualität der Kohle. Für Stückkohle mit viel Asche und Schlacke gebe man den Roststäben 20 mm, den Spalten 8 bis 13 mm, für erdige, staubige Kohle dagegen nur 10 bis 13 mm dicke Roststäbe, und nur circa 3 bis 4 mm breite Spalten. Manchmal findet man es sogar zweckmässig, 10 mm breite Stäbe bei 3 mm breiten Spalten anzuwenden. Für Holzfeuerung sind 6 mm breite Spalten gebräuchlich, für Torf breite Roststäbe und breite Spalten. Um das Inunordnunggerathen der Roststäbe zu verhüten und gleichzeitig die seitliche Stabilität zu erhöhen, giesst man oft zwei oder mehrere Stäbe in einem Stück. Für kleine Verticalkessel der Einfachheit und Handlichkeit halber zuweilen den ganzen Rost aus nur zwei oder drei Theilen, einzelne Stäbe würden hier sehr unbequem sein, da sie alle von verschiedener Länge ausfallen.

Für staubige und erdige Braunkohlen, Torfklein, und auch nicht backende Gruss- und Staubkohlen, Steinkohlen, wendet man mit Vortheil die stark geneigten Treppenroste an, für Braunkohlen von 34° bis zu 45°, für Steinkohlen ungefähr 45° geneigt. Dieselben haben horizontale flache, der Quere nach über dem Rost liegende Roststäbe, die in Vorsprüngen an den Trägern lagern. Man kann auf diesen Rosten Materialien

verbrennen, die auf Planrosten gänzlich unbrauchbar sein würden, ist in der Grösse nicht beschränkt, ohne dadurch dem Heizer mehr Arbeit zu geben, kann die Feuerung aufs Einfachste continuirlich einrichten, und schützt den Kessel vor kalten Luftströmungen und den Heizer vor der strahlenden Wärme. Diese Roste lassen sich leicht schüren, und man bringt unten einen kleinen Planrostschieber an, durch den man Asche und Schlacke, die sich in grosser Menge bilden, abziehen kann, ohne das Feuer wie beim Planroste, stören zu müssen. Die einzelnen Roststäbe sind einfache, flache Stäbe, etwa 100 mm breit, 20 bis 25 mm dick, und da sie auf der flachen Seite aufliegen, bedürfen sie der dichteren Unterstützung. Man hat beobachtet, dass Roststäbe nach längerem Gebrauch eine permanente Verlängerung von 2 bis 3 Proc. angenommen haben.

Es ist sehr gebräuchlich, Planroste hinten etwas tiefer zu legen, als vorn, wodurch allerdings das Feuern erleichtert wird, jedoch führt es leicht dazu, hinten auf dem Rost, wo ohnehin die Verbrennung eine weniger intensive ist, die Kohlen zu sehr anzuhäufen. Sonst, besonders bei inneren Feuerungen, vergrössert man hinten den Verbrennungsraum etwas, und kann eine höhere Feuerbrücke anbringen, ohne den Raum über der Feuerbrücke zu sehr einzuengen.

Um die zu intensive Verbrennung bei Feuerungen im Flammenrohre an den Wänden des letzteren zu verhindern, legt man oft einen Roststab an jeder Seite dicht an das Blech heran; diese Vorsicht empfiehlt sich für viele kleine verticale Kessel, die sehr häufig um und dicht über dem Roste sehr bedenklich angegriffen sind, besonders wenn der Wasserraum durch Niederschläge aus dem Wasser gefüllt ist.

Schmiedeeiserne Roststäbe werden in ähnlicher Form wie die gusseisernen angewandt; dieselben verbrennen nicht so leicht, verbiegen und verdrehen sich jedoch bald und werden dadurch untauglich, trotzdem benutzt man sie häufig für Locomobilen, die rauher Behandlung ausgesetzt sind, weil sie nicht zerbrechlich sind, und sich auch wieder gerade richten lassen.

Für stark backende und schlackende Kohlen, die auf dem Roste in fest zusammenhängenden Massen liegen und die Verbrennung erschweren, sind eine grosse Anzahl von Vorrichtungen erfunden, und viele praktisch angewandt, um die Roststäbe pendelartig hin und her zu schwingen, wodurch die Kohlendecke gebrochen wird. Gute Resultate mögen diese

Roste geben, jedoch sind bei Feuerungsanlagen insbesondere alle Complicationen zu vermeiden, und selten sieht man eine Anordnung längere Zeit im Gebrauche, die nicht vollkommen einfach ist. Aus demselben Grunde sind hohle Roststäbe, durch welche zu deren Abkühlung Luft oder Wasser circuliren, zu vermeiden, mit Ausnahme in Kesseln mit Feuerkasten, welche Anordnung schon für Anthracitkohlen erwähnt wurde. Die Feuerbrücke wird meist aus feuerfesten Steinen aufgeführt, entweder vollständig oder, wie schon erwähnt, auf einem gusseisernen Rahmen, der gleichzeitig das hintere Ende der Roststäbe trägt. Man führt dieselben zu Zeiten hohl aus, bringt Schlitze und Löcher darin an, um der Flamme zur völligeren Verbrennung noch hinter der Brücke Luft zuzuführen. In Kesseln mit innerer Feuerung findet man auch die Feuerbrücke, als Theil des Kessels construirt; in diesem Falle achte man darauf, dass der in denselben gebildete Dampf leicht seitlich entweichen kann, mache deshalb die Brücke in der Mitte etwas tiefer, sonst brennt dieselbe sehr bald durch.

Die Feuerbrücke wirkt dadurch günstig, dass sie die Flamme mit der Heizfläche in enge Berührung bringt, und durch Zurückhalten der Gase von dem zu schnellen Abströmen durch die Flammenrohre, begünstigt sie die Mischung mit Luft und erzielt dadurch vollkommenere Verbrennung. In der Absicht, diese Wirkung zu verstärken, wird die Feuerbrücke oft zu enge ausgeführt, und da für enge Züge ein grösserer Zug nöthig ist, als für weite, so entweichen die Gase in Folge dieser zu grossen Verengung zu heiss in den Schornstein und verursachen Kohlenverschwendung. Ausserdem wird die Ausnutzung der strahlenden Wärme zu sehr localisirt, was einen schädlichen Einfluss auf die Wände des Flammenrohres ausüben muss. Die beste Höhe der Feuerbrücke für einen besonderen Fall kann nur durch wirkliche Versuche festgestellt werden, da sie von der Grösse des Rostes, der Intensität des Zuges, den Eigenschaften des Brennmaterials, der Dicke desselben auf dem Roste und der Quantität atmosphärischer Luft, die durch die Roststäbe in das Feuer gelangt, abhängig ist. Der Querschnitt des freien Raumes über der Feuerbrücke kann annähernd zu $^1/_6$ des Rostes angenommen werden, giebt man mehr freie Oeffnung, so wird die Flamme nicht so plötzlich durch die innige Berührung mit den Blechen abgekühlt, und kann man dieselbe durch längere Züge bei geringerem Luftzug führen, wodurch sich das Rauchen verhindern und eine geringere

Verbrennung erzielen lassen. In vielen Fällen hat sich durch Erniedrigung der Brücke und besseres Anpassen derselben an die Rohrform eine nicht unbedeutende Brennmaterialersparniss ergeben. Das Rauchen ist verhindert worden, die Verdampfung erhöht, und die Inanspruchnahme und Abnutzung des Kessels verringert. Für Fettkohlen guter Qualität rechne man 25 qcm freie Oeffnung über der Feuerbrücke für jedes Kilo verbrannter Kohle pro Stunde. Verbrennt man bei mässigem Feuern 64 Kilo Kohle pro Stunde und Quadratmeter, so würde man demnach 1350 Quadratcentimeter pro Quadratmeter oder etwa $^1/_7$ der Bortfläche erhalten.

Zuweilen bringt man in einiger Entfernung, 60 bis 90 cm hinter der ersten Brücke, eine zweite, umgekehrte, oder hängende Feuerbrücke an, und lässt dann, dicht hinter der ersteren Luft zur Flamme treten, wodurch eine bessere Verbrennung erzielt wird. Der Platz zwischen beiden Brücken bildet in diesem Falle einen guten Verbrennungsraum, und hat man mit diesen hängenden Feuerbrücken oft recht gute Resultate erhalten; da dieselben jedoch schwer im Stande zu erhalten sind, und oft ausgebessert werden müssen, so werden sie gewöhnlich bald nach dem Versuche wieder beseitigt.

Bei äusserlich geheizten Kesseln bringt man oft im unteren Zuge zwei oder mehrere Brücken in Zwischenräumen an, um dadurch das Feuer besser dicht an den Kessel heranzuhalten, auch setzt sich hier die Flugasche besser ab.

Kesselmauerungen.

Ueber Kesseleinmauerungen liesse sich gern allein ein Buch schreiben, der Gegenstand ist auch nicht von geringer Wichtigkeit, es sollen jedoch hier nur einige Hauptpunkte erwähnt werden, die allgemeine Anwendung finden. Man bringe so wenig wie möglich Mauerwerk in Berührung mit dem Kessel, besonders vermeide man dies am und nahe dem Boden, wo sich Wasser ablagert, und zur Zerstörung des Kessels führt. Alle Feuerzüge müssen innen eine Schicht feuerfeste Steine erhalten, und für die Lager des Kessels benutze man Blöcke aus Chamotte und nicht Ziegel. Kalk darf nirgends mit dem Kessel in Berührung kommen, und alle Chamottesteine sind in Feuerthon oder Lehm zu setzen. Die Züge seien hinlänglich gross um gehörig gereinigt werden

zu können, und um eine Inspection des Kessels zu erlauben. Die weit verbreitete Methode, die Züge möglichst eng an die Kesselwandungen anschliessend zu machen, entspringt aus der Absicht, die Wärme der Gase möglichst auszunutzen, jedoch ist der geringe Verlust an Brennmaterialien, der durch weitere Züge verursacht werden mag, durch die grössere Leichtigkeit der Reinigung und die durch öftere Untersuchung gebotene Sicherheit reichlich aufgewogen. Es wird oft vergessen, dass in engen Zügen die Kesselwände sich schneller mit einer Russschicht überziehen, diese, ein sehr schlechter Wärmeleiter, kann nur schwer entfernt werden, und dadurch findet man, dass der grössere Effect mit engen Zügen sehr bald abnimmt.

Einfach cylindrische und halbkugelig an den Enden geschlossene Kessel findet man zuweilen auf zwei Unterstützungsmauern mit Seiten- und Mittelzügen angelegt, für den sogenannten getheilten Zug angeordnet. Man gewinnt hierdurch jedoch wenig, die Reinigung und Untersuchung des Kessels ist erschwert, und es ist weit besser in kurzen Kesseln dieser Construction die ganze Heizfläche des Kessels in einen Raum zu legen, und die Gase vom Rost über die Feuerbrücke und um den ganzen Kessel herumziehend in den Schornstein gelangen zu lassen. Bei dieser Anordnung hat man gar kein Mauerwerk unter dem Kessel, und lässt den Kessel entweder auf gusseisernen Stühlen oder mittelst angenieteter Träger seitlich auf dem Mauerwerke ruhen. Eine ähnliche Anordnung empfiehlt sich für kurze Röhrenkessel mit innerer Feuerung, und habe ich solche Anlagen sehr gut arbeiten sehen. In letzterem Falle kommt die Flamme vom Rost, durch das Flammenrohr, und zieht dann um den Kessel herumspielend nach vorne. Falls man den Schornstein vorn oder neben dem Kessel anbringt, lässt man nun die Gase direct in diesen treten, ist er jedoch hinten, so müssen dieselben in einem Fuchse dorthin geleitet werden. Diese Anordnung hat den Vorzug der grossen Einfachheit und Dauerhaftigkeit, lässt eine Besichtigung des Kessels und die regelmässige Reinigung leicht zu, und arbeitet ebenso ökonomisch, als wenn man den Zug in zwei oder drei Canäle getheilt hätte. Der Hauptvortheil ist jedoch noch, dass der Kessel ringsherum gleichzeitig erhitzt, sich frei ausdehnt, und keine schädlichen Spannungen auftreten können.

In cylindrischen Kesseln mit einem oder zwei Flammenrohren von mittlerer und grösserer Länge empfiehlt es sich

meist, die Flamme aus dem Flammenrohr unter den Kessel treten zu lassen, vorn theilt sich der Zug, die Flamme streicht nach oben und kommt zu beiden Seiten wieder nach hinten, wo die Züge vereinigt einen Schieber erhalten und in den Schornstein münden. Bei grösseren, aber kurzen Kesseln dieser Art, die man mit Seiten- und Bodenzügen aufstellt, ist es nicht rathsam, die zu heissen Gase direct mit dem Boden in Berührung treten zu lassen; man lasse sie in diesem Falle erst die Seiten bestreichen, sich dann vorn vereinigen und im Bodenzuge nach hinten kommen. Die Chamotteblöcke zur Unterstützung des Kessels sind folgendermaassen anzufertigen. Oben nur 70 mm breit, unten 300 mm zur besseren Auflage, etwa 300 mm hoch, so dass der Kessel gut über dem Mauerwerk erhaben und vor Feuchtigkeit geschützt ist. Den Boden der Züge braucht man nicht immer mit feuerfesten Steinen auszulegen, da sich hier sehr bald Asche ablagert, jedenfalls genügt eine Flachschicht. Die hier und da noch verbreitete Methode, Kessel auf eine Mittelzunge zu setzen, die Gase erst durch das Flammenrohr nach hinten, dann auf der einen Seite nach vorn, und auf der anderen Seite nach hinten streifen zu lassen, ist zu verwerflich, und sollte gar nicht der Erwähnung bedürfen. Erstlich lagert sich auf der Mittelzunge alle denkbare Feuchtigkeit ab, falls der Kessel irgendwo leckt, und zweitens ist die ungleiche Ausdehnung der beiden Seiten dem Kessel höchst schädlich. Die in einigen Anlagen beliebte Methode das Speiserohr durch die Züge gehen zu lassen, wende man nie an, dasselbe entzieht sich hier der Beobachtung, beginnt zu lecken und beschädigt schliesslich den Kessel.

In dem Capitel über Abnutzung der Kessel werden wir noch einmal auf die verschiedenen Methoden der Einmauerung zurückkommen.

Achtes Capitel.

Kesselstein-Niederschläge.

Eins der grössten und gleichzeitig eins der am häufigsten vorkommenden Uebel, mit welchem Kesselbesitzer geplagt sind, ist das Absetzen von Schlamm und Kesselstein.

Wo diese Niederschläge in Kesseln an solchen Stellen, wo die Circulation des Wassers am schlechtesten ist, die Dicke von 1,5 mm nicht übersteigt, und an den Stellen, wo die beste Circulation herrscht, die Dicke von Eierschalen, darf man dieselben in den meisten Fällen eher als einen Vortheil betrachten und nicht als Nachtheil, weil eine so dünne Schicht höchstens die Wirkung haben kann, den Kessel vor dem zerstörenden Einfluss des Wassers zu bewahren, und wie schon früher erwähnt, das Aufschäumen des Wassers und somit nassen Dampf zu verhindern. Werden die Niederschläge jedoch so bedeutend, dass die Gefahr vorliegt, die engen Wasserräume zu füllen, oder wenn sich dieselben in dicken Schichten auf den Flammrohren und den Theilen des Kesselmantels absetzen, wo die Einwirkung des Feuers am stärksten ist, so wird der Kesselstein nicht nur unangenehm, sondern sogar gefährlich. Er ist schwer zu entfernen, wo er sitzt, verringert er den Nutzeffect des Brennmaterials, führt zur Ueberhitzung der Bleche und womöglich zur endlichen Explosion. Da die den Blechen vom Feuer mitgetheilte Wärme nicht schnell genug an das Wasser abgegeben wird, aufgehalten durch die dicke Kruste eines schlechten Wärmeleiters, und weiter beeinträchtigt durch eine verringerte Circulation des Wassers, überhitzen sich die Bleche und kann dies mit der Zeit zum völligen Durchbrennen derselben führen. Uebrigens kann das Ueberhitzen der Bleche

schon höchst gefährlich werden, ehe dieselben wirklich durch die Wärme gelitten haben, besonders in Flammenrohren von grossem Durchmesser, die durch die hohe Wärme an einer Stelle aus ihrer Kreisform verzerrt und dann schon durch einen geringen Durck zerstört und zusammengedrückt werden.

Wenn die Bildung von Kesselstein auch nur in geringem Grade zur Ueberhitzung der Bleche führt, so trägt dies schon wesentlich zur ungleichen Ausdehnung bei, welche, wie noch später gezeigt werden wird, eine der grössten Ursachen für das kurze Leben vieler Kessel ist.

Tritt die Kesselsteinbildung in dem Speiserohre selbst oder dem im Kessel liegenden Theile desselben in grossem Maasse ein, so kann, besonders bei feinen Bohrungen für den Auslass, wegen zu geringem Zufluss des Speisewassers ein Ueberhitzen der Flammenrohre eintreten. Ist der Kesselstein von bedeutender Dicke und sehr hart, so ist er schwer zu entfernen, und ist einer sorgfältigen, oder auch nur einigermaassen befriedigenden Untersuchung des Zustandes der Kesselbleche sehr im Wege. Es giebt zwar gewisse Zeichen und Andeutungen, die der inspicirende Ingenieur sehr bald kennen lernt, aus denen sich mit ziemlicher Sicherheit auf den fehlerhaften Zustand der darunterliegenden Nietnaht oder des Nietkopfes und Stehbolzens schliessen lässt, es sind dies Unterschiede in Farbe, kleine Risse und die eigenthümliche Formation, jedoch kann man nie mit absoluter Gewissheit nach diesen Zeichen urtheilen, und bei verschiedenem Wasser und unter sonst geänderten Umständen können dergleichen Andeutungen sehr trügen. Die scheinbare Anwesenheit solcher Zeichen mag oft zu unnöthigen Sorgen und unbegründeten Mühen Veranlassung geben, während deren Nichtvorhandensein andererseits zuweilen einen gänzlich unbegründeten Zustand der Sorglosigkeit und Sicherheit herbeiführen kann.

In manchen Röhren- und sogenannten Multitubularkesseln kann die massenhafte Absetzung von Niederschlägen in solchem Maasse die Wirksamkeit und Sicherheit beeinträchtigen, dass man deren Gebrauch einzustellen gezwungen ist; zu häufig wird leider bei der Wahl einer bestimmten Kesselconstruction auf die Beschaffenheit des Speisewassers keine Rücksicht genommen. Es kann nicht zu entschieden hervorgehoben werden, dass man für hartes, schlammiges und mineralisches Speisewasser stets solche Kessel wählen muss, die leicht in allen inneren Theilen gereinigt werden können, da von diesem Um-

stande sehr wesentlich die Dauer und der ökonomische Betrieb eines Kessels abhängig ist.

Fast alles für stationäre und Locomotivkessel benutzte Speisewasser enthält feste Bestandtheile gelöst, welche sich theils schon bei höherer Temperatur, theils beim Verdampfen ausscheiden und also im Kessel zurückbleiben. Sobald eine Ausscheidung stattfindet, wird die erste Folge die sein, dass die festen Bestandtheile zu Boden fallen; lässt man ihnen nun hier Zeit sich anzusammeln, ohne sie durch Abblasen zu entfernen, so verhärten sie sich mit der Zeit durch die Wirkung des Feuers und bilden Kesselstein.

Die Quantität fester in Lösung befindlicher Bestandtheile variirt meist zwischen 0,5 bis 1 Gramm pro Kilo, steigt aber in einzelnen Ausnahmefällen bis auf 5 Gramm, jedoch ist schon eine weit geringere Quantität als die letztere ausreichend, um sehr unangenehme Folgen zu verursachen. Uebrigens hängt es auch sehr wesentlich von der chemischen Zusammensetzung der Niederschläge ab.

Nehmen wir z. B. einen Kessel, der stündlich 1000 Kilo Wasser zu verdampfen im Stande ist und dem Kesselstein zum Niederschlagen eine Fläche von 23,0 qm bietet, so würden schon bei einem Gehalte von 0,5 Gramm pro Kilo in einer Stunde 500 Gramm und in einer Woche zu 60 Arbeitsstunden 30 Kilo niedergeschlagen worden sein. Nehmen wir die Dichte dieses Niederschlages zu 2,5 an, so bildet derselbe eine Masse von 12000 cbcm, und wird demnach eine Fläche von 23 qm 0,509 mm dick bedecken. In drei Monaten würde diese Schicht, wenn nicht vorher entfernt, bis auf 6,6 mm anwachsen.

Man kann sich nach obigem Beispiel einen Begriff machen, wie bei der so gebräuchlichen Vernachlässigung des Reinigens und gelegentlichen Abblasens, ein Kessel schon während einer kurzen Zeit in gefährlicher Weise durch Kesselstein verunreinigt werden kann. In manchen, besonders Bergbau betreibenden Gegenden werden Kessel mit Grubenwasser gespeist, und kommen da Fälle vor, dass sämmtliche Rohre geringeren Durchmessers, wie die des Vorwärmers z. B., völlig verstopft sind, so dass ohne Vorwärmer gespeist werden muss, während sich am Boden des Kessels der Kesselstein bis zu 100 mm und mehr ablagert.

Ausser den mineralischen in Wasser gelösten Bestandtheilen enthalten viele Wasser eine grössere oder geringere Quantität erdiger und schlammiger Bestandtheile suspendirt;

dies kommt besonders nach starkem Regen bei Kesseln vor, die aus kleinen Flüssen gespeist werden, auch die Flussschifffahrt ist oft daran Schuld. Unter solchen Verhältnissen sollte besonders oft abgeblasen und gereinigt werden.

Es giebt vielleicht wenige mit der Anwendung von Dampf verbundene Probleme, mit denen sich der erfinderische Geist mehr beschäftigt hätte, als die Verhütung und Entfernung von Kesselstein. Es wird angenommen, dass in den letzten paar Jahren allein in England gegen 200 Patente auf dergleichen ertheilt worden sind, und die Unzahl Anti-Kesselstein-Geheimmittel, die von gläubigen und verzweifelten Kesselbesitzern versucht werden, liefern den besten Beweis für das wirkliche Vorhandensein eines grossen Uebels.

Ehe wir uns auf eine Besprechung der Unzahl von Gegenmitteln einlassen, wird es am Platze sein, die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Substanzen zu untersuchen, mit denen wir besonders zu kämpfen haben.

Die blosse Quantität fester Bestandtheile, die ein Wasser enthält, kann keineswegs als Maassstab der Brauchbarkeit oder Nichtbrauchbarkeit desselben als Speisewasser angesehen werden. Die Gegenwart von etwa 1 bis 1,2 g pro Kilo von zerfliessenden Salzen, wie kohlensaures Natron oder chlorsaures Natron, würde sich bei einiger Aufmerksamkeit und gelegentlichem Abblasen gar nicht unangenehm fühlbar machen; während andererseits eine gleiche Quantität Kalksalze das Wasser gänzlich untauglich machen würde, wenn nicht dem Abblasen und Reinigen eine ungewöhnlich grosse Aufmerksamkeit zugewandt würde. Leider ist jedoch das Vorkommen der ersteren Salze eine Ausnahme, das der letzteren dagegen fast Regel.

Die grosse Mehrzahl der Brunnen, Bergwerk-, Fluss-, Canal- und Stadt-Versorgungswasser enthalten schwefelsauren Kalk, doppeltkohlensauren Kalk und kohlensaure Magnesia.

Diese Bestandtheile, in den verschiedensten Verhältnissen und häufig gemischt mit allerhand anderen Unreinigkeiten, verursachen die grössten Mühen durch Bildung harten Kesselsteins und loser Niederschläge, die die Uebertragung der Wärme so wesentlich beeinflussen.

Nach den Angaben von M. Cousté ist ein Kilogramm Wasser im Stande, die in folgender Tabelle angegebenen Gewichtstheile der Salze bei verschiedenen Temperaturen aufzulösen.

	Ein Kilogramm Wasser von	16° C.	100° C.
löst von	kohlensaurem Kalk	Spuren	Spuren
„ „	Kieselerde	1 g	„
„ „	schwefelsaurem Kalk	2,5 „	„
„ „	kohlensaurer Magnesia	20,3 „	„
„ „	schwefelsaurem Kali	62,6 „	250,4 g
„ „	Chlornatrium	200,0 „	200,0 „
„ „	Chlormagnesium	1665,2 „	3630,8 „
„ „	salpetersaurem Natron	3130,0 „	?
„ „	Chlorcalcium	3380,4 „	unbegrenzt.

Ausser diesen Salzen, die in verschiedenen Wassern in den verschiedensten Quantitäten enthalten sein können, kommen noch eine grosse Anzahl anderer theils organischer, theils unorganischer Bestandtheile vor, deren Vertheilung wesentlich von localen Umständen abhängt. Flusswasser enthält, besonders nach starkem Regen, oft grosse Quantitäten Schlamm mechanisch suspendirt, und geben diese dem Wasser ein trübes unreines Aussehen, und doch mag trotzdem dieses so wenig einladend aussehende Wasser besser zur Kesselspeisung geeignet sein, als ein brillant klares Brunnenwasser, dem man seines einladenden Aussehens wegen den Vorzug zu geben geneigt sein möchte. Man hat sowohl die Quantität, als auch die Qualität der chemisch gelösten und mechanisch suspendirten Bestandtheile bei der Wahl des Speisewassers in Rücksicht zu ziehen. Eine Verdampfungsprobe einer Gewichtseinheit Wasser im offenen Gefässe giebt in vielen Fällen schon interessante Aufschlüsse über das Verhalten der Niederschläge. Man kann schon mit den einfachsten Hilfsmitteln die Quantität annähernd bestimmen, überzeugt sich, ob der Niederschlag erdig, pulverförmig oder fest und backend ist. Oft kann man durch Mischung von Wasser aus verschiedenen Quellen, besonders von Fluss- und Brunnenwasser ganz wesentliche Verbesserungen erzielen.

Die Reihenfolge, in welcher die Salze aus dem Wasser beim Kochen niedergeschlagen werden, ist folgende: Zuerst kohlensaurer Kalk, dann schwefelsaurer Kalk, hierauf die Eisenverbindungen, wie Basen und Oxyde und einige Magnesiaverbindungen, dann folgen die Silicate und Thonerden, gewöhnlich mit organischen Substanzen gemischt, und zuletzt das Kochsalz.

Das für Schiffskessel sehr ausgedehnt in Anwendung kommende Seewasser variirt zwar in verschiedenen Meeren,

besonders sind die Abweichungen in den Binnen- und Halbbinnen-Seen zu bemerken, jedoch ist der Unterschied in den Oceanen ein sehr geringer. Nach Dr. Ure ist die grösste Quantität Salz, die das Wasser der Oceane in Lösung hält, 38 Theile pro 1000; die geringste 32 Theile pro 1000. Das Rothe Meer enthält jedoch 43, die Ostsee von 6,66 bis 17,7, das Schwarze Meer 17,7 bis 21 und die Eismeere 28,5. Im Canal, Pas de Calais ist der Gehalt 35,5, und im Mittelländischen Meer 38. Faraday fand das mittlere specifische Gewicht des Seewassers zu 1,027, wenn das des chemisch reinen Wassers 1,000 ist, jedoch schwankt das specifische Gewicht je nach der Localität von 1,0269 bis 1,0289 bei + 17° während das des Rothen Meeres 1,0306 beträgt.

In 100 Theilen Meerwasser sind enthalten:

Nach „Wagner“

	Grosser Ocean.	Atlantischer Ocean.	Nordsee.	Rothes Meer.
Chlornatrium . . .	2,5877	2,7558	2,5513	3,030
Bromnatrium . . .	0,0401	0,0326	0,0373	0,064
Schwefelsaures Kali .	0,1359	0,1715	0,1529	0,295
Schwefelsaurer Kalk.	0,1622	0,2046	0,1622	0,179
Schwefels. Magnesia .	0,1104	0,0614	0,0706	0,274
Chlormagnesium . .	0,4345	0,3260	0,4641	0,404
Chlorkalium	—	—	—	0,288
Summa . .	3,4708	3,5519	3,4384	4,534

Das in den verschiedenen Meeren aufgelöste Salz ist wie folgt zusammengesetzt (siehe folgende Seite):

Der kohlensaure Kalk, chemisch mit dem Marmor, Kalkstein, Selenit und der Kreide identisch, ist in reinem Wasser nicht, wohl aber in kohlensäurehaltigem löslich, und ist in diesem in Wahrheit als doppeltkohlensaurer Kalk in Lösung, und demnach variirt die Quantität mit dem Kohlensäuregehalt des Wassers. Durch Erhitzen wird die überschüssige Kohlensäure verdrängt und ein verhältnissmässiger Theil von Kalk wird niedergeschlagen. Die Löslichkeit nimmt mit der Erhöhung der Temperatur ab, und beim Sieden ist derselbe fast unlöslich.

		Kaspisches Meer.	Schwarzes Meer.	Ostsee *).	Nordsee Durchschnitt von 7 Stellen.	Mittelmeer Durchschnitt von 3 Stellen.	Atlant. Ocean Durchschnitt von 3 Stellen.	Todtes Meer Durchschnitt von 5 Stellen.
Gesammtgehalt	Feste Salzmasse .	0,63	1,77	1,77	3,31	3,37	3,63	22,30
	Wasser	99,37	98,23	98,23	96,69	96,63	96,37	77,70
Die im Wasser gelösten festen Bestandtheile enthalten in 100 Theilen:	Chlornatrium	58,25	79,39	84,70	78,04	77,07	77,03	36,55
	Chlorkalium	1,27	1,07	—	2,09	2,48	3,89	4,57
	Chlorcalcium	—	—	—	0,20	—	—	11,38
	Chlormagnesium	10,00	7,38	9,73	8,81	8,76	7,86	45,20
	Bromnatrium und Magnesium	—	0,03	—	0,28	0,49	1,30	0,85
	Schwefelsaurer Kalk . . .	7,78	0,60	0,13	3,82	2,76	4,63	0,45
	Schwefelsaure Magnesia . .	19,68	8,32	4,96	6,58	8,34	5,29	—
	Kohlensaurer Kalk und Magnesia	3,02	3,21	0,48	0,18	0,10	—	—
	Stickstoff und bituminöse Substanzen	—	—	—	—	—	—	1,00

*) Im Ostseewasser aus dem grossen Sund zwischen Oesel und Moon fand Baron Sass (1866) bei 1,00474 specif. Gewicht nur 0,666 Proc. feste Bestandtheile.

Man findet verschiedene Angaben über die Löslichkeit des kohlensauren Kalkes in reinem Wasser, welche für gewöhnliche Temperatur zwischen dem 16000- und 24000fachen Volumen variiren. In Wasser von 144° C. ist derselbe nach M. Cousté absolut unlöslich. Aus diesem Grunde ist es selbstverständlich, dass Wasser, dem die Luft und Kohlensäure entzogen sind, wenig oder keinen Kalk gelöst enthalten, und dass sich in Kesseln einfach durch die erhöhte Temperatur der Kalk niederschlägt.

Der schwefelsaure Kalk oder Gyps ist nächst dem kohlensauren Kalk die wichtigste Substanz. Die Löslichkeit desselben schwankt wesentlich mit der Temperatur, nach Regnault ist ein Gewichtstheil Gyps in 393 Gewichtstheilen Wasser von 35° C. löslich, und ist dies die grösste Quantität, die sich in Wasser lösen lässt. Bei 100° C. verlangt Gyps das 460fache Gewicht Wasser und bei 144° ist derselbe, ähnlich wie kohlensaurer Kalk, nach Cousté absolut unlöslich. Gyps scheidet sich also stets durch blosse Temperaturerhöhung aus dem Wasser aus, und könnte in Kesseln, welche mit niedrigem Druck arbeiten, der schwefelsaure Kalk theilweise durch Abblasen entfernt werden, wenn das Wasser bei 110° C. gesättigt ist; die Auflösung desselben erfordert jedoch Zeit, und die schnelle Verdampfung scheidet mehr aus, als in derselben Zeit wieder gelöst werden kann.

Von nächst hoher Wichtigkeit in frischem Wasser ist die kohlensaure Magnesia; jedoch kommt diese meist immer in weit geringeren Quantitäten vor als die beiden erstgenannten Salze. In ihrem Verhalten bei verschiedenen Temperaturen und ihrer Löslichkeit im Wasser ist sie dem kohlensauren Kalk ähnlich.

Nachdem die Salze bereits unlöslich geworden oder ausgeschieden sind, schweben dieselben noch eine Zeit lang im Wasser und lagern sich je nach ihrem Gewichte, der Dichte des Wassers, der Circulation und der mehr oder weniger starken Dampfbildung schneller oder langsamer ab. Ueber den Kesseltheilen, wo die Dampfbildung eine sehr intensive ist, werden die ausgeschiedenen Salze so lange schwebend erhalten, bis die Dampfbildung sich verringert oder aufhört, oder wenn die Circulation eine gute ist, so werden die Niederschläge mit der Strömung weggerissen, bis dieselben in einem ruhigeren Theile des Kessels ankommen, wo sie sich an Rohren oder Blechen absetzen können. Es kommt häufig vor, dass gerade das Speiserohr, wenn nicht gespeist wird, einer der

ruhigsten Plätze im Kessel ist, und erklärt sich daraus die oft hier sehr bedeutende Ansammlung von Kesselstein. Das Verstopfen der Speiseöffnungen, sowohl in horizontalen als auch verticalen Rohren, erklärt sich jedoch durch die plötzlich erhöhte Temperatur, mit der das kalte Wasser vom Speiseapparat kommend zusammentrifft, und des dadurch veranlassten plötzlichen Niederschlages. Höchst eigenthümliche Resultate findet man zuweilen, wenn das Speisewasser sehr heiss und im bei dieser Temperatur fast gesättigtem Zustande in den Kessel eintritt. In diesem Falle scheiden sich die Kalksalze in dem Momente aus, in dem das Wasser durch die Bohrungen im Speiserohr in den Kessel entweicht, und bilden dicke Niederschläge an den gegenüberliegenden Blechen. Zuweilen sieht man sogar bei horizontalen Röhren, dass sich an jeder Bohrung ein Röhrchen aus Kesselstein abgelagert hat, zuweilen mehrere Centimeter lang, welches sich zuletzt schliesst und dann dem Wasser den Ausweg versperrt.

Es wird häufig angenommen, dass die Bleche dicht über dem Feuer am dicksten mit Kesselstein überzogen werden, weil hier die grösste Quantität Wasser verdampft wird. Dies ist jedoch selten oder nie der Fall, wenn nicht die Circulation sehr schlecht ist, wie z. B. über den flachen Feuerkastendecken in den meisten Locomotivkesseln. In einfachen cylindrischen und Flammenrohrkesseln mit innerer Feuerung werden die ausgeschiedenen und schwebenden Mineraltheilchen durch die heftige Verdampfung hinweg gerissen, folgen der Strömung des Wassers und setzen sich da ab, wo das Wasser am ruhigsten ist, häufig im kältesten Punkte des Kessels. Wo man in Kesseln mit Unterfeuerung bedeutende Quantitäten von Kesselstein dicht über dem Feuer findet, rühren dieselben meist von losgesprungenen Stücken von den Seiten her, die, zu schwer für die Strömung, hier liegen bleiben.

Die Gefahr des Ueberhitzens aus dieser Ursache ist einer der Hauptgründe, die gegen zu starkes Feuern gegen die Bodenplatten von cylindrischen Kesseln aufgebracht werden, besonders wo die Beschaffenheit des Wassers eine derartige ist, dass sich bedeutende Niederschläge bilden.

Die Gegenwart von Fett im Kessel verhindert sehr wesentlich das Hinwegreissen von Niederschlägen durch die Verdampfung, weil sich eine kleistrige Masse bildet, die an den Seitenwänden festsitzt und auch in zu grossen Stücken zusammenballt, um weggeschwemmt werden zu können.

Der schwefelsaure Kalk bildet im Niederschlag eine amorphe Kruste von grösserer oder geringerer Härte, je nach den übrigen im Wasser enthaltenen Mineralien und der Hitze, welcher er ausgesetzt war, während kohlensaurer Kalk und kohlensaure Magnesia sich meist in feinem Pulver ausscheiden und mit dem Wasser einen dünnen weissen Brei bilden. In Verbindung mit den schwefelsauren Salzen erhärten sich auch diese, und bilden dann einen harten amorphen Kesselstein. Ehe sich die leichten kohlensauren Salze nach dem Ausscheiden zu Boden setzen, werden sie nahe der Oberfläche des Wassers suspendirt gehalten, und gelangen häufig mit dem Dampf in die Maschinentheile, Rohre, Schieberkasten und selbst Cylinder.

Cylinder, die einige Monate im Betriebe gewesen und dann geöffnet wurden, zeigten auf dem Kolben und den Deckeln eine Ablagerung bis zu 4 mm Dicke, aus fein vertheiltem mineralischen Pulver. Dass dies mit der Zeit zu Unfällen, Brechen der Cylinder, Deckel und dergleichen Veranlassung geben kann, ist klar.

Wenn der kohlensaure Kalk im Ueberschuss vorhanden ist, im Verhältniss zu anderen Unreinigkeiten; so bleibt derselbe längere Zeit in einem weichen, nicht gebackenen Zustande, und wird er nicht zu hohen Temperaturen ausgesetzt, so zerfällt derselbe beim Trocknen und Entleeren des Kessels in ein feines mehliges Pulver von heller Farbe. Wird dagegen der Kessel abgeblasen, während die Bleche und die Mauerung sehr heiss sind, so backt der Schlamm in eine harte Masse zusammen, die schwer zu entfernen ist. Es ist das Abblasen bei zu hoher Temperatur eine der Hauptursachen, dass sich aus schwefelsaurem und kohlensaurem Kalke feste und harte Niederschläge bilden, deshalb lasse man den Kessel stets erst abkühlen und blase nicht unter Druck ab.

Wenn Kessel mit Wasser gespeist werden, welches Kalksalze enthält, und man bläst dieselben kalt ab, so findet sich bei einer inneren Besichtigung, ehe der Kessel völlig trocken wird, dass die Bleche, Rohre, Stehbolzen und dergleichen mit einer dicken Schicht von hellfarbigem Schlamm überzogen sind, der sich mit wenig Mühe durch Bürsten oder selbst einen kräftigen Wasserstrahl entfernen lässt. Bläst man dagegen bei hoher Temperatur aus, so verhärtet sich dieser Niederschlag, wodurch sich das Volumen natürlich sehr verringert, und wenn dann nicht zum Ausklopfen des Kessels mit scharfen Instrumenten gegriffen wird, so findet man wenig

zu entfernen. Aus diesem Entschuldigungsgrunde, nämlich beim Abblasen unter Druck sehr wenig Kesselstein zu entfernen zu haben, ziehen es viele Kesselwärter vor, die Kruste verhärten und anbacken zu lassen. Es kann nicht geleugnet werden, dass besonders in vielen Röhrenkesseln das Reinigen derselben eine sehr mühevolle und unangenehme Arbeit ist, die wenn nicht unter sorgfältiger Beaufsichtigung, oft umgangen wird. Natürlich lässt sich durch theilweises gelegentliches Abblasen eine Menge Niederschlag entfernen.

Es ist häufig versucht worden, den Wärmeverlust, der durch Kesselsteinansatz verursacht wird, zu berechnen; die Verhältnisse, welche hierbei in Betracht kommen, die Mittheilung von Wärme durch Bleche, die mit einer Kesselsteinschicht von verschiedener Dicke und Zusammensetzung überzogen sind, können keineswegs als einfach angesehen werden, und sind nicht hinreichend bekannt, um als Basis für dergleichen Berechnungen dienen zu können. Es ist jedoch wiederholt behauptet worden, dass eine Schicht von 1,5 mm Dicke auf den Rohren eines Röhrenkessels einem Brennmaterialverlust von 20 Proc. gleich zu rechnen sei, und dass dies Verhältniss bei grösseren Dicken sehr rapide zunimmt.

Ein anderer Beobachter behauptet, dass eine Schicht von 1,5 mm einen Zuschuss an Brennmaterial von 15 Proc. nöthig macht, und dass schon bei einer Dicke von 6 mm der Extrabedarf an Brennmaterial auf 60 Proc. steigt und bei 12 mm Dicke sogar bis zu 150 Proc. anwachsen soll. Da diese Autorität jedoch über die Construction des Kessels ebenso wenig wie über die Art des Niederschlages irgend welche Auskunft ertheilt, so darf zu viel Werth hierauf nicht gelegt werden. Die meisten Kessel würden bei gewöhnlichem Schornsteinzuge mit einer Kesselsteinkruste auf den über dem Feuer liegenden Blechen von 12 mm Dicke gar nicht betriebsfähig sein, während sich in manchen Kesseln auf einem grossen Theil der Heizfläche eine dickere Schicht von Kesselstein befinden könnte, ohne auch nur 100 Proc. mehr Brennmaterial zu verlangen. Peclet hat behauptet, dass nach seinen Beobachtungen in Locomotivkesseln eine dünne Kesselsteinschicht der Mittheilung der Wärme an das Wasser günstig sei, weil die Dampfbildung in neuen Locomotivkesseln zuerst zunimmt, dann eine Zeit lang stationär bleibt, und später abnimmt. Es ist jedoch möglich, dass die grössere beobachtete Production von Dampf ihren Grund in der Abnahme des Aufschäumens und Ueber-

kochens hatte, welches, wie schon früher erwähnt, in neuen Kesseln, besonders wenn dieselben fettig und schmutzig sind, weit auffälliger ist, als nachdem sich eine dünne Kesselsteinschicht gebildet hat.

Es ist unzweifelhaft, dass ein gleichförmiger Ueberzug von festem, hartem, schwefelsaurem Kalk selbst auf den über dem Feuer liegenden Blechen und bis zu 4,5 mm Dicke nicht so leicht zur Ueberhitzung der Bleche Veranlassung giebt als die dünneren, jedoch unregelmässigeren Niederschläge, welche sich zuweilen fleckweise auf den Blechen über dem Roste absetzen, oder auch die Niederschläge aus Kalksalzen, die mit organischen Substanzen gemischt sind und die zähe an den Platten anhaften, ohne sich jedoch dicht an dieselben anzulegen.

Ein paar ölige Lumpen auf den Blechen direct über dem Feuer verursachen leichter ein Ueberhitzen als selbst voluminös erscheinende Massen von festem, jedoch dicht anliegendem Kesselstein. Derjenige Niederschlag, der am häufigsten ein Ueberhitzen verursacht, wo man es am wenigsten erwartet, ist das beim Abblasen gefundene unfühlbar feine Pulver, dessen Hauptbestandtheil kohlensaurer Kalk ist. In Folge der grossen Leichtigkeit seiner Theilchen wird dasselbe lange Zeit in Suspension gehalten, und bedeckt die Oberfläche des Wassers als Schaum. Wird das Wasser auf diese Art gesättigt, so stellen sich dem Entweichen der Dampfblasen sowohl wie der Transmission der Wärme grosse Schwierigkeiten entgegen. Das Wasser hebt sich in Folge dessen durch die Dampfblasen, welche nicht schnell genug entweichen können, von den Platten, und letztere überhitzen sich in Folge dessen.

Befindet sich neben diesem mehligen Niederschlage noch Fett im Wasser, so vergrössert dies die Neigung der Platten, überhitzt zu werden. Das Fett scheint sich mechanisch sehr enge mit dem kohlensauren Kalk zu verbinden, und wenn diese Verbindung oder besser Mischung über Nacht oder während eines anderen Stillstandes, auf die Platten sinkt, so bildet es hier eine lose, schwammige Masse, die jedoch fest an dem einmal eingenommenen Platze sitzen bleibt, und selbst durch kräftige Circulation nicht zu entfernen ist. Sie erschwert die Dampfbildung, hält den gebildeten Dampf zurück, und indem sie dadurch die innige Berührung zwischen Wasser und Dampf verhindert und selbst ein schlechter Wärmeleiter ist, verursacht dieselbe das Ueberhitzen der Bleche.

Dieser pulverförmige Niederschlag enthält meist 60 oder mehr Procent kohlensauren Kalk, mit geringen Quantitäten kohlensaurer Magnesia, schwefelsaurem Kalk, Eisenoxyd, Thonerde, Sand und anderen Unreinigkeiten gemischt.

Die Farbe variirt natürlich je nach dem Gehalt an Eisenoxyd und organischen Bestandtheilen von Weiss bis zu einem Dunkelrothbraun. Auch ändert sich die Farbe wesentlich durch die Temperatur, gewöhnlich ist der Niederschlag über dem Feuer und wo sonst die Hitze am grössten ist, heller, während er in anderen Theilen des Kessels, an den Ankern und dergleichen, meist dunkler ist.

Da sich diese Art des Niederschlages als dicker Schlamm leicht auswaschen, oder, wenn völlig trocken, als feines Pulver leicht entfernen lässt, so wird er häufig zu wenig beachtet und als Ursache des Ueberhitzens gänzlich übersehen. Leider zeigt sich die Gegenwart desselben zu häufig durch ein Lecken in den Nietnähten und durch Kantenrisse in den Blechen über dem Feuer, häufig begleitet von einem langsamen, aber sicheren Zusammendrücken der Flammenrohre sowohl in Kesseln mit innerer als auch mit äusserer Feuerung. In Cornish- und Lancashirekesseln, oder cylindrischen Kesseln mit einem und zwei Flammenrohren, mit innerer Feuerung zeigt sich das Ueberhitzen nicht so häufig oben im Rohr, als einige Centimeter über dem Roste. Die Bleche werden hier oft nach innen gepresst, während sich die Decke nach auswärts ausbiegt.

Die Anwesenheit von fettigen Substanzen in den Niederschlägen lässt sich sehr leicht dadurch feststellen, dass man eine geringe Quantität in einer Giesskelle über dem Feuer erhitzt. Dieselben sind fast stets vorhanden, wenn das Speisewasser in Maschinen ohne Condensation durch den Retourdampf erhitzt, oder in Condensationsmaschinen das Speisewasser aus dem Ueberlauf entnommen wird. Aus diesem Grunde muss man häufig diese Methode abgeben, und das Speisewasser durch Apparate erhitzen, bei welchen es nicht direct mit dem Retourdampf in Berührung treten kann, weil, wie bereits bewiesen, das fettige Speisewasser sehr schädlich für den Kessel sein kann.

Selbstverständlich vergrössert sich die Wahrscheinlichkeit des Ueberhitzens der Bleche bei Anwesenheit von kohlensaurem Kalk und Magnesiapulver, wenn die Hitze auf dem Roste eine sehr bedeutende ist, verursacht durch sehr intensives Feuer, durch die Eigenschaft der Kohle oder einen sehr

kräftigen Zug, oder dadurch, dass das Feuer den Blechen zu nahe kommt. Selbst eine geringe Aenderung in der Kesselmauerung, wodurch ein kräftigerer Zug verursacht wird, oder ein veränderter Schieber, neue Roststäbe, Aenderung in der Feuerbrücke können die Gefahr des Ueberhitzens wesentlich vergrössern. Es sind Fälle vorgekommen, in denen in einer Anzahl anscheinend ganz gleicher Kessel und mit derselben Einmauerung nur einer Ursache zu Unannehmlichkeiten gegeben hat, und entschiedene Zeichen des Ueberhitzens, wie Lecken der Nähte, Risse in den Kanten u. s. w., erkennen liess; bei näherer Untersuchung zeigte sich dann, dass dieser Kessel stets die grösste Quantität Kohle verzehrte, entweder durch besseren Zug oder dadurch veranlasst, dass durch eine zu hohe Feuerbrücke das Feuer forcirt war. Reducirt man in solchen Kesseln die Kohlenquantität bis sie mit den übrigen auf gleicher Stufe ist, so hören die Lecke meist bald auf. Dass eine compacte homogene Masse von Kesselstein, gleichmässig über die Bleche vertheilt, denselben in geringerem Maasse schädlich sein sollte, als wenn die Bleche der Wirkung einer losen, schwammigen oder pulverförmigen Substanz ausgesetzt sind, lässt sich leicht erklären, wenn wir uns erinnern, dass loses Pulver ein weit schlechterer Wärmeleiter ist, als der harte Stein, aus welchem es gemahlen wurde. Eine bessere Illustration giebt vielleicht der Umstand, dass man mit weit weniger Gefahr des Ueberhitzens reines Wasser in einem Gefässe kochen kann, welches innen mit einer Kesselsteinschicht von 5 mm überdeckt ist, als eine Mischung von Wasser oder Milch, mit Mehl oder dergleichen zu einem Brei angerührt, in einem völlig reinen Gefässe.

In letzterem Falle können die sich am Boden des Gefässes bildenden Dampfblasen durch den grossen, ihnen in der zähen Masse gebotenen Widerstand nicht schnell genug entweichen, der Boden wird in Folge dessen überhitzt, und das Resultat in Bezug auf den Brei ist allen in Kochangelegenheiten Erfahrenen so wohl bekannt, dass es hier kaum der Erwähnung bedarf; der Brei brennt an, und verdirbt in Folge dessen auch das Kochgeschirr.

Bricht man ein Stück Kesselstein, dem Boden oder den Seiten eines Kessels entnommen, so zeigen sich gewöhnlich eine Anzahl auf einander gehäufter Schichten welche theils krystallinisch, theils amorph sind. Diese Schichten variiren in Dicke von der eines Papierblattes bis zu 3 mm und mehr.

Abwechselnd mit krystallinischen, harten Schichten finden wir gelegentlich weiche, von erdigen Substanzen, welche so lange das Wasser in Bewegung war, in demselben schwebend erhalten wurden, sich jedoch beim Stillstande niedersetzten. Häufig bemerkt man, dass alle diese zahlreichen Schichten sich durch verschiedene Farben, Härte und chemische Zusammensetzung unterscheiden, ein Umstand, der durch die verschiedene Löslichkeit der Salze sowie durch den strömenden Einfluss des Speisewassers auf die Ablagerung erklärt ist. Der dem Bleche nächstliegende Theil des Kesselsteins ist meist sehr dunkel gefärbt, und an ihm haftet eine dünne Lage von Eisenoxyd, während die Oberfläche des Bleches sich fast weich anfühlt, und entschiedene Zeichen des Verzehrens trägt, oft bis zu ganz bedeutender Tiefe in die Oberfläche hinein. Diese Erscheinung wird gewöhnlich durch den verzehrenden Einfluss der Eisensalze und im Seewasser durch chlorsaure Magnesia verursacht. Dieses letztere Salz ist das gefährlichste im Seewasser, in concentrirter Lösung zersetzt es sich nach Faraday bei 100° C. und bildet dann Magnesia und Salzsäure, welche letztere, wenn frei, natürlich sehr energisch das Eisen angreift.

Bei Anwendung von stark eisenhaltigem Wasser nimmt der Kesselstein oft eine rothe Färbung an. Sogenannte Stahlwasser sind den Platten höchst gefährlich, die Oxydschicht auf dem Kesselstein ist häufig von tief rother Farbe, welche sich selbst dem hiermit in Berührung befindlichen Wasser mittheilt, und so glücklicherweise ein Mittel giebt, durch welches sich die Anwesenheit dieser zerstörenden Eisensalze erkennen lässt. Manche Arten weichen reinen Wassers bilden auf den Blechen Flecken von Kesselstein, ungefähr 3 mm dick, und nur etwa 15 bis 30 mm gross von irregulärer Form; entfernt man diese, so findet man oft das Blech in sehr bedenklicher Weise angegriffen.

Die im Gebrauch befindlichen und vorgeschlagenen Mittel um Kesselstein zu vermeiden und zu entfernen mögen wie folgt zusammengefasst werden.

1. Abblasen von Schlamm.
2. Anwendung von chemischen Mitteln im Kesselwasser, durch welche die Unreinigkeiten mehr löslich werden sollen.
3. Anwendung von mechanischen Mitteln, von denen man erwartet, dass sie die Ansammlung und das Festsetzen des Kesselsteins an den Platten und Rohren verhindern.

4. Die Anwendung innerer Sammelapparate, aus denen sich der Kesselstein schneller und leichter entfernen lässt, als aus dem Kessel selbst.
5. Durch Verbesserung der Wassercirculation, indem man die oberen und unteren Strömungen durch Platten oder Rohre von einander trennt.
6. Reinigung des Wassers, ehe es in den Kessel tritt, durch Erhitzen, Filtration oder Behandlung mit chemischen Agentien.
7. Oberflächencondensation.
8. Entfernung der gebildeten Kesselsteinkruste durch plötzliche Ausdehnung oder Contraction der Kruste oder des Kessels.
9. Entfernung der gebildeten Kruste durch Handarbeit.
10. Anwendung von galvanischen und anderen Mitteln, über deren Wirkung man sich noch unklar ist.
11. Durch vollständiges langsames Abkühlenlassen des Kessels, ehe man ihn abbläst.
12. Durch Vereinigung mehrerer der obigen Methoden und Mittel.

1. Theilweises Abblasen ist die einfachste und daher auch gebräuchlichste Manier, die Bildung von Kesselstein zu verhüten und die Niederschläge zu entfernen. In den meisten stationären Kesseln befindet sich der Abblasehahn einfach am Boden, und die Wirkung des Abblasens ist zu sehr localisirt, als dass sie von grossem Werthe sein könnte. Man findet jedoch viele Kessel besonders eingerichtet, mit einer oder mehreren am Boden liegenden Rohren versehen, welche mit dem Abblasehahn in Verbindung stehen. Diese Rohre werden gewöhnlich ungefähr 35 bis 40 mm über dem Kesselboden befestigt, und sind an der Unterseite, wo sie sich nicht so leicht verstopfen, durchlöchert; man benutzt diesen Schlamm-Abblase-Apparat je nach der Beschaffenheit des Wassers mehrmals täglich während des Betriebes. Wird dieser Apparat in gutem Zustande erhalten und sind die Unreinigkeiten des Wassers schwer und fallen schnell zu Boden, so leistet derselbe recht gute Dienste. Enthält das Wasser aber viel kohlensauren Kalk, kohlensaure Magnesia und andere sehr feinpulverige Salze, so ist es besser, den Abblaseapparat zu benutzen, nachdem der Kessel einige Zeit gestanden und die Niederschläge Zeit gehabt baben, sich zu Boden zu setzen.

Ein guter indirecter Beweis für den Werth einer solchen

Abblasevorrichtung ist der, dass wenn man ihn nicht regelmässig benutzt, so findet man das Rohr gelegentlich vollständig gefüllt, und wird in diesem Falle die Entleerung des Kessels sehr erschwert.

Der Umstand, dass in vielen Kesseln die bereits ausgeschiedenen Unreinigkeiten noch lange im Kessel herumschwimmen, verursacht durch die Bewegung des Wassers, und sich häufig als Schaum auf der Oberfläche ansammeln, hat die Idee ins Leben gerufen, Oberflächen-Abblase-Apparate zu construiren und anzuwenden. Alle sind in der Hauptanordnung ähnlich, dieselben bieten einen ruhigen, von der Bewegung des Wassers nicht beeinflussten Platz, in dem sich die ausgeschiedenen Unreinigkeiten sammeln können, die so gesammelten Niederschläge werden dann in geeigneten Zwischenräumen abgeblasen. Eine Anordnung, die ihrer Zeit vielfache und ausgedehnte Anwendung fand, besteht aus einem oder mehreren trompetenartig erweiterten Mundstücken, in denen sich der Schaum sammelt und von hier durch verticale Rohre in das gemeinsame horizontale Abblaserohr geführt wird. Am besten ordnet man den Mund horizontal quer durch den Kessel und nach vorn gerichtet an, wodurch die durch die Oberflächenströmungen fortgerissenen Theile in denselben hineingetrieben werden. Diese Anordnung ist in den meisten Kesseln mit innerer Feuerung höchst störend, weil die Mundstücke und die horizontalen und verticalen Rohre das ohnehin schwierige Reinigen wesentlich erschweren. Häufig verursacht diese grössere Schwierigkeit mehr Uebel als durch den Apparat geheilt werden können, der Kessel bleibt stets in einem mehr oder weniger schmutzigen Zustande, und man kann deshalb von allen den Apparaten, die Rohre längs des Bodens in Cornish- und Lancashirekesseln nöthig machen, einen dauernden Vortheil kaum erwarten.

Um in diesen Oberflächen-Abblase-Apparaten auch den verschiedenen Wasserständen Genüge zu leisten, hat man dieselben zuweilen schwimmend angeordnet, dass diese jedoch sehr bald durch das extra Gewicht der gesammelten Niederschläge ausser Ordnung gerathen uud meist durch Kesselsteinbildung in einer Stellung befestigt werden, ist wohl leicht einzusehen.

Eine andere Construction für denselben Zweck ist die, ein Rohr auf seiner ganzen Länge mit einer oben offenen V-förmigen Rinne zu versehen, und diese Rinne durch Löcher

mit dem Inneren des Rohres zu verbinden. Dies Rohr wird etwa 20 bis 25 mm unter dem mittleren Wasserstande befestigt, und durch ein verticales Rohr von 80 bis 100 mm Durchmesser mit einem Abblasehahn verbunden, der meist an der Stirnwand angebracht wird. Diese Rinne verfertigt man in solchen Längen, dass sie sich durch das Mannloch hineinbringen lassen, und verbindet sie innen. Am wirksamsten würde dieser Apparat sein, wenn die offene Rinne sich in der Mittellinie des Kessels, durch dessen ganze Länge reichend, befände, jedoch ist dieselbe hier wegen des Reinigens zu sehr im Wege, und wird deshalb meist auf eine Seite gelegt. Für grössere Kessel, wo es der Raum gestattet, ist es rathsam, zwei anzubringen, parallel zu einander. Der eben beschriebene einfache Oberflächenabblaseapparat ist sehr ausgedehnt, und in vielen Fällen mit gutem Erfolge benutzt worden. Häufig jedoch findet man ihn ausser Thätigkeit gesetzt, und in einem völlig nutzlosen oder sogar störenden Zustande, denn sobald derselbe nicht durch Abblasen nützlich ist, ist er durch die Verengung eines oder des anderen Kesseltheils störend. Viele Kesselwärter scheuen die geringe Arbeit, diesen Apparat im betriebsfähigen Zustande zu halten. Die Löcher, welche die Rinne mit dem Rohr verbinden, setzen sich zu, und der Apparat giebt zu allerhand Unannehmlichkeiten Veranlassung, statt irgend welchen Nutzen zu gewähren.

Ein häufig gegen den Oberflächenabblaseapparat erwähnter Umstand ist der durch denselben verursachte Verlust, welcher jeden von ihm erwarteten Vortheil vollständig ausgleicht. Es ist möglich, dass der Verlust durch Abblasen heissen Wassers bedeutender sein kann, als der Vortheil, der durch Entfernung der Unreinigkeiten erzielt wird; natürlich wird dies sehr wesentlich von der Art und Weise des Gebrauches dieses Apparates abhängen, und da dies ein wichtiger Punkt ist, wollen wir ihn hier etwas näher beleuchten.

Wenn die Niederschläge nur durch Concentration des Wassers erzeugt würden, so dass dieselben also erst ausgeschieden würden, wenn das Wasser vollständig gesättigt ist, so könnte Kesselsteinbildung durch theilweises Abblasen des Kessels an jedem beliebigen Punkte unter dem Wasserniveau verhindert werden, angenommen, die Sättigung sei eine gleichmässige, durch den ganzen Kessel verbreitete, so würde man also in diesem Falle nur nöthig haben, eine so grosse Quantität Unreinigkeiten durch das Abblasen zu entfernen, als

durch das Speisewasser in dem grösseren Volumen desselben eingeführt würde. Enthielte demnach das Speisewasser z. B. 1 Proc. eines gewissen Salzes und das Wasser wäre erst durch 3 Proc. bei der im Kessel herrschenden Temperatur damit gesättigt, so könnte man durch Abblasen von $^1/_3$ des eingeführten Wassers das im Kessel befindliche stets unter dem Punkte der Sättigung erhalten. Gewöhnliches Seewasser enthält ungefähr $^1/_{32}$ seines Gewichtes an Chlornatrium. Da nun der Salzgehalt im Kessel nie mehr als das Dreifache des obigen betragen darf, so muss man ein Volumen Wasser aus dem Kessel entfernen, welches gleich der Hälfte des Volumen des verdampften Wassers ist. In vielen Fällen ist es rathsam, den Salzgehalt nicht höher als $^2/_{32}$ steigen zu lassen, und muss dann in diesem Falle ebenso viel Wasser durch Abblasen entfernt werden als verdampft wird. Der absolute Verlust durch theilweises Abblasen wird noch später im sechszehnten Capitel besprochen werden.

Es ist selbstverständlich, dass wenn alle Salze sich bei höherer Temperatur, also unter den Verhältnissen im Dampfkessel ähnlich verhielten wie die Natriumsalze, so könnte man durch Abblasen das Niederschlagen vollständig verhindern. Unglücklicher Weise jedoch ist dies nicht der Fall, und die meisten Unreinigkeiten werden schon durch blosse Temperaturerhöhung ausgeschieden, und lösen sich nicht mehr bei den gebräuchlichen Betriebstemperaturen. Die schweren schwefelsauren Kalksalze, welche in grossen Quantitäten vorkommen und schwer zu entfernen sind, bleiben nicht lange gelöst, und es ist deshalb nutzlos zu glauben, dass man durch gelegentliches oder selbst häufiges Abblasen die Bildung von Kalkkesselstein verhindern könnte. Die feineren und leichteren kohlensauren Salze halten sich noch längere Zeit nach dem Ausscheiden schwebend in bewegtem Wasser, und trotzdem ein grosser Theil derselben durch Oberflächenabblaseapparate entfernt werden kann, so kann man doch, besonders wenn in längeren Zwischenräumen abgeblasen wird, den Kessel nicht davon frei halten. Vorsichtige Beobachtungen haben gezeigt, dass wenn der Abblasehahn eines stationären Landkessels, gleichgiltig ob Boden- oder Oberfiächenapparat, geöffnet wird, aller im Rohr angesammelte Schmutz fast auf einmal ausfliesst, und der Strahl ist selten lang.

Sind nun nicht sehr lösliche Salze wie Soda und dergleichen im Wasser enthalten, so fliesst gleich nachher Wasser

ab, welches wenig Kesselstein bildende Substanzen enthält, und ist deshalb nur Verschwendung.

Es wird daher einleuchten, dass wenn man beabsichtigt, durch den Abblasehahn Kalk- und Magnesiasalze zu entfernen, so thut man gut, dieselben wenigstens jede Stunde einmal zu öffnen, die im Rohre gesammelten Schmutztheile, vielleicht 30 bis 40 cm in der Länge des Rohres zu entfernen und wieder zu schliessen. Diese Methode ist besser als wie gewöhnlich der Fall ist, mehrere Stunden zu warten, bis sich vielleicht das Rohr in einer Länge von 2 m gefüllt hat. Natürlich verlangt dieses häufige Oeffnen des Hahns besondere Aufmerksamkeit und führt zu einer grösseren Abnutzung desselben, jedoch mag diese in vielen Fällen durch den erreichten Vortheil auf der anderen Seite reichlich aufgewogen werden.

2. Die Anzahl der chemischen Substanzen, welche in Kesseln benutzt werden, um die Löslichkeit der im Wasser enthaltenen Salze zu erhöhen, indem sie dieselben zersetzen, ist sehr bedeutend, und die Anwendung derselben ist von den verschiedensten Resultaten gefolgt.

Die am meisten benutzte dieser Substanzen ist, weil eine der billigsten und eine der wirksamsten ohne Zweifel das kohlensaure Natron, die gewöhnliche Soda des Handels. Zuweilen wendet man die billigere Rohsoda an, jedoch mit geringerem Erfolge. Die Erfahrung lehrt, dass Soda eine entschieden günstige Wirkung zeigt, wo kohlensaure und schwefelsaure Kalkwasser Verwendung finden. Die Wirkung ist eine chemische, die Salze wechseln ihre Säuren, und die Producte sind schwefelsaures Natron und kohlensaurer Kalk, ersteres ist im Wasser leicht löslich, letzteres, ohne überschüssige Kohlensäure unlöslich, schlägt sich allerdings nieder, bildet aber keine harte Kruste, sondern ein feines leicht zu entfernendes Pulver. Der in dem Speisewasser enthaltene doppelt kohlensaure Kalk verursacht eine ähnliche Wirkung, die überschüssige Kohlensäure wird von dem kohlensauren Natron gebunden, und der einfach kohlensaure Kalk zu Boden gefällt. Durch die hohe Temperatur im Kessel tritt ohne Zweifel eine gewisse Wechselwirkung ein, die dem zweifach kohlensauren Kalk entzogene Kohlensäure verlässt die Soda wieder und diese kann von Neuem ihre Wirkung beginnen. Nur auf diese Weise kann das durch eine sehr geringe Quantität Soda erzielte Resultat in einer grossen Wassermenge erklärt werden.

Nachdem sich der kohlensaure Kalk niedergeschlagen hat, was stets im ruhigsten Theile des Kessels am stärksten geschehen wird, bleibt er meist im Zustande eines dicken Breies und kann leicht ausgespült werden. Es ist jedoch nothwendig, um die Verhärtung zu verhindern, den Kessel vor dem völligen Abblasen langsam abkühlen zu lassen, und ihn nicht zu entleeren, so lange das Mauerwerk und die Bleche noch warm genug sind, da sonst der kohlensaure und etwa noch vorhandene schwefelsaure Kalk in eine harte Masse zusammenbacken. Wie schon erwähnt, halten sich die feinen kohlensauren Kalktheilchen vor dem Niedersetzen durch die Bewegung des Wassers schwebend oder sammeln sich auch als Schaum auf der Oberfläche, trotzdem das specifische Gewicht 2,7 beträgt. Es wird aus den obigen Betrachtungen einleuchtend sein, dass wenn man bei kalkhaltigem Wasser Soda anwendet, ein häufiges Schlammabblasen nöthig wird, sowohl um das Ueberschäumen des Wassers als auch das Ueberhitzen der Bleche in Folge des gebildeten Schlammes zu verhüten. Die beste Zeit für das Schlammabblasen ist nach einem kürzeren Stillstande, wenn derselbe Zeit gehabt hat sich niederzusetzen.

Die gewöhnliche Manier die Soda in den Kessel zu bringen ist die, nach dem Reinigen die für einige Zeit bestimmte Quantität durch das offene Mannloch zu schütten, oder aber in manchen Orten, wo der Kessel gelegentlich kalt wird, bringt man die nöthige Quantität durch das Sicherheitsventil ein. Dass diese beiden Methoden, wie überhaupt jedes periodische Einführen von Soda in den Kessel von grossen Uebelständen begleitet ist, wie Ueberschäumen und allen hiermit verbundenen Unannehmlichkeiten, hat schon häufig dazu geführt, den Gebrauch dieser sonst so nützlichen Substanz einzustellen, und es ist hiermit wie mit vielen anderen Dingen, wenn vernünftig angewendet, heilsam und nützlich, wenn jedoch in unvernünftiger Weise damit umgegangen, sind die Nachtheile grösser als die möglichen Vortheile.

Die Soda in die Ausgusskästen der Condensationsmaschinen zu bringen, aus denen gewöhnlich das Speisewasser entnommen wird, ist ebenso wenig zu empfehlen, weil meist ein grosser Theil des Condensationswassers unbenutzt wegläuft und dadurch eine unnöthige Sodaverschwendung verursacht würde. Die beste Manier ist die, die Soda continuirlich mit dem Speisewasser in den Kessel zu pumpen, und löst man dieselbe zu diesem Zwecke in einem Speisewasserbehälter auf, oder

bringt für die Sodawasserlösung ein besonderes Bassin an, welches durch ein kleines mit einem Hahn versehenes Rohr mit dem Speisewassersaugrohr in Verbindung steht. Auf diese Weise kann man den Zufluss ganz nach Wunsch reguliren. Bei Anwendung eines Injectors speise man aus einem Bassin, in dem die Soda gelöst wird, und lasse von Zeit zu Zeit den Injector alles hierin befindliche Wasser in den Kessel spritzen, damit auch alle Soda in denselben gelange. Die günstigste Quantität Soda lässt sich am besten durch Erfahrung feststellen. Gewöhnlich wird man 0,5 bis 1 kg für 1000 kg verdampften Wassers ausreichend finden, man füge mehr hinzu, wenn noch fester Kesselstein sich ansetzen sollte, oder weniger, wenn nur Schlamm sich zeigt, bis man das richtige Quantum ermittelt hat.

Es wird von vielen Ingenieuren behauptet, dass, wenn Soda im Ueberschuss benutzt wird, so zerstört dieselbe die Verpackungen, greift die etwa am Kessel befindlichen Messingarmaturentheile an, besonders unter der Wasserlinie, und führt zum Ueberschäumen des Wassers. Ohne Zweifel bemerkt man, dass bei Anwendung von Soda im Kessel die Hähne häufiger eingeschliffen werden müssen, jedoch mag dies auch durch die grössere Quantität feinen mineralischen Pulvers verursacht werden, welches bei Anwendung von Soda gebildet wird, und welches die Messinghähne und dergleichen sehr leicht undicht schleift. Schon aus diesem Grunde ist ein wirksamer Oberflächenabblaseapparat von grossem Werthe.

Soda hat auf die Blechplatten direct keinen schädlichen Einfluss, es sei denn, dass dieselbe unrein ist und Säuren enthält; durch die gebildeten feinen Niederschläge kann bei Unachtsamkeit indirect ein Ueberhitzen der Bleche durch dieselbe bewirkt werden, jedoch sind die häufig gegen Soda erhobenen Beschwerden, Verrosten und Verzehrung der Bleche zu begünstigen, entschieden unrichtig und mögen durch andere Umstände zu erklären sein. In Kesseln, welche mit Wasser gespeist werden, welches ätzende Unreinigkeiten enthält, gleichzeitig mit solchen, die dicke Kesselsteinkrusten bilden, wird die schädliche Wirkung der ersteren häufig übersehen, weil sie durch die Kesselsteinschicht bedeckt ist. Benutzt man nun Soda, besonders Aetznatron, um die Kesselsteinschicht zu entfernen, so zeigen sich die rostigen Stellen in den Blechen bei der nächsten Untersuchung, und sehen, besonders wenn mit dem säurehaltigen Wasser nachgewaschen wurde, ganz frisch

aus. Was ist natürlicher, als dass die Soda als Ursache angesehen wird.

Diese Betrachtung führt uns zu einer anderen werthvollen Eigenschaft der gewöhnlichen Soda, es ist dies das Neutralisiren von im Wasser vorkommenden Säuren, die sich sowohl in den anscheinend reinsten Brunnenwassern, als auch in solchen Wassern finden, die eine grosse Quantität mineralischer Bestandtheile gelöst enthalten, und die die directe Ursache zu verrosteten Blechen sind.

Eine geringe Quantität Soda regelmässig in den Kessel eingeführt, verhindert das Rosten der Platten auf das Wirksamste.

Im Haushalte sowohl wie in vielen Industriezweigen findet die Soda hauptsächlich zu dem Zwecke Anwendung, fettige Substanzen aufzulösen, und auch im Kessel, besonders wenn mit Condensationswasser gespeist, hat sie durch diese Eigenschaft noch besonderen Werth. Leider führt die Wirkung der Soda auf das Fett zu einer bedeutenden Schaumbildung im Kessel und veranlasst dadurch Aufschäumen und die damit verbundenen Uebel, weshalb ein Oberflächenabblaseapparat auch für diesen Zweck wichtig ist.

Wie schon erwähnt, wird an Stelle von Soda häufig Rohsoda ihres geringeren Preises wegen benutzt, jedoch ist diese häufig im Handel so unrein und mit Stoffen gemischt, die dem Kessel schädlich sein könnten, dass die Anwendung derselben besser vermieden wird. Aetznatron, welches ebenfalls Verwendung findet, soll, wenn concentrirt, die Bleche etwas angreifen, es entfernt jedoch harte Kesselsteinschichten besser wie Soda und kann für diesen Zweck in geringen Quantitäten benutzt werden, jedoch ist es für den regelmässigen Betrieb nicht zu empfehlen. Kohlensaures Kali wirkt auf die Kalksalze und Magnesiasalze ähnlich wie Soda, kohlensaures Ammoniak hat auf Kalksalze dieselbe Wirkung, scheidet aber die Magnesiasalze nicht aus.

Chlorbaryum zersetzt den schwefelsauren Kalk und bildet schwefelsaures Baryt, welches zu Boden fällt. Der in Lösung bleibende Chlorkalk wird, wenn in concentrirter Lösung, den Blechen schädlich.

Alle genannten und noch viele anderen Substanzen sind als Mittel gegen Kesselstein vorgeschlagen und angewendet, da sie jedoch vor der Soda fast nichts voraus haben und meist theurer sind, so ist die Anwendung stets eine beschränkte.

Catechu, Galläpfel und andere tanninsäurehaltige Substanzen haben sich häufig gegen Kesselsteinbildung und zur Entfernung desselben wirksam gezeigt. Die Tanninsäure schlägt die Kalksalze nieder, und bildet tanninsauren Kalk, der unlöslich meist einen Schaum auf der Oberfläche bildet, und von hier entfernt werden muss. Die übrigen löslichen Substanzen müssen ebenfalls häufig durch Abblasen entfernt werden, sonst wirken sie, wenn concentrirt, in schädlicher Weise auf die Kesselbleche. Die beste Manier Tanninsäure zu benutzen ist vielleicht die, einen Eichenklotz mit der Rinde im Kessel aufzuhängen, den das Wasser dann allmählich auslaugt. Gleichzeitig mit der Tanninsäure müssen übrigens Alkalien in das Wasser gebracht werden, um etwaige Ueberschüsse an Säuren zu neutralisiren. Man achte bei Benutzung von Tanninsäure stets vorsichtig auf das Aussehen der Bleche und Rohre im Fall dieselben angegriffen sein sollten. Salmiak oder Chlorammonium ist ebenfalls und in vielen Fällen erfolgreich gegen Kesselsteinbildung angewendet worden, besonders gegen kohlensaure Kalk- und Magnesiasalze. Es bildet sich bei dessen Anwendung Chlorkalk, der leicht löslich ist, und durch Abblasen entfernt werden kann, und kohlensaures Ammoniak, welches löslich ist und auch verdampft und mit dem Dampfe abgeht; im concentrirten Zustande sind diese beiden Verbindungen jedoch den Blechen schädlich und habe ich besonders bei eisernen Blechen und kupfernen Stehbolzen in Feuerkastenkesseln ganz gefährliche Wirkungen bei Anwendung von Salmiak bemerkt. Natürlich muss in solchen Fällen die Anwendung eingestellt werden, und leistet Soda sehr oft die nöthigen Dienste besser und ohne Gefahr.

Um bereits gebildete harte Kesselsteinkrusten zu entfernen, ist oft Salzsäure vorgeschlagen und benutzt worden. Man bringt dieselbe in den Kessel ehe er kurz vor dem Abblasen abgekühlt ist. Allerdings löst die Salzsäure die kohlensauren Salze auf und bildet Chlorsalze, die, leicht löslich entweder mit dem Wasser abfliessen, oder als Schlamm mit Gyps gemischt entfernt werden können. Wird bei Anwendung von Salzsäure jedoch nicht mit ganz besonderer Vorsicht verfahren, so können leicht die Platten und Rohre im Innern angegriffen werden und deshalb thut man gut, Salzsäure nicht zu benutzen. Viele Mischungen, die für Kessel empfohlen werden, und theure Substanzen, wie Arsenik und andere, enthalten, werden oft mit der Bemerkung in den Handel gebracht, dass

man gut thue, den Kessel längere Zeit in Betrieb zu halten, ohne ihn abzublasen, um die kostspieligen Ingredienzien nicht zu verschwenden. Man vergesse hierbei jedoch nie, dass dadurch das Wasser verdickt und die Bleche mit Schlamm bedeckt werden, wodurch dieselben leiden und oft sehr bedeutend beschädigt werden.

Häufig hat man in einer Kesselanlage die Wahl zwischen zwei verschiedenen Wasserquellen, vielleicht ein Brunnenwasser mit mehr oder weniger mineralischem Gehalt und ein Oberflächenwasser, welches erdige und saure Bestandtheile enthält. Durch abwechselndes Speisen mit beiden in durch Erfahrung gefundenen Zwischenräumen lässt sich oft die Anwendung aller Chemikalien vermeiden. Man speist zuerst mit Brunnenwasser, wodurch die Bleche dünn überzogen werden, und benutzt hierauf Sammelwasser, welches die Kesselsteinschicht allmälig auflöst.

Die Anwendung chemischer Substanzen zur Verhütung und Entfernung von Kesselstein ist in allen den Kesseln am nothwendigsten, die nicht befahrbar sind und also anderweitig nicht gereinigt werden können; da diese jedoch gleichzeitig schwer zu besichtigen sind, so muss man stets sehr vorsichtig sein und auf alle Zeichen achten, die Corrosion oder sonstige Angriffe der Bleche andeuten.

Das in neuerer Zeit mehrfach gegen Kesselsteinbildung empfohlene Zink hat nicht die auf dasselbe gebauten Erwartungen erfüllt. In solchen Wassern, die vorwiegend schwefelsaure, salpetersaure und Chlor-Salze enthalten, soll dasselbe häufig gute Dienste leisten, dagegen bei solchem Wasser, welches ausser diesen Salzen grössere Quantitäten kohlensaure Salze enthält, sich weniger bewähren. Oft findet man selbst das Zink von einer Kesselsteinschicht gänzlich überzogen, in manchen Fällen wurde bei sorgfältigen Versuchen eine Gewichtszunahme des Zinkes durch Oxydation constatirt, in anderen war es völlig zerfressen und schwammartig durchlöchert, ohne dass sich jedoch entschiedene Resultate anführen liessen. Sicher ist jedoch, dass die Anwesenheit von Zink im Kessel das Rosten der Bleche verhindert und mag deshalb bei solchen Wassern, als stahlartigen und säurehaltigen, das Zink ohne gerade der Kesselsteinbildung entgegen zu arbeiten, gute Dienste leisten.

3. Die Substanzen, die man in der Absicht anwendet, eine mechanische Wirkung von denselben zu erreichen, die die

Kesselsteinbildung verhüten soll, sind vielleicht noch zahlreicher als die chemischen. Alle nur denkbaren Stoffe sind bereits vorgeschlagen und verwandt worden und viele davon oft, ohne dass sich die betreffende Person irgendwie über die Art der Wirkungsweise klar geworden sei.

Die mechanisch wirkenden Substanzen können unter zwei Classen gebracht werden, nämlich erstlich die, welche die ausgeschiedenen mineralischen Theilchen mit einer klebrigen oder schleimigen Hülle überziehen, welche deren festes Aneinanderhaften und das Festsetzen an die Bleche verhindert; und zweitens solche, die zwischen die mineralischen Theilchen andere einschieben und dadurch ein festes Zusammenhalten verhindern. Zur ersten Classe gehören Substanzen wie Kartoffeln, einige Algen und Moose, Talg, Oel, Stärke, Leinsamen, Zucker, Syrup, Stearin, Gummi, Dextrin und eine Unzahl andere Ingredienzien. Ganze verdorbene Speckseiten sind zerschnitten und mit Knochen in den Kessel geworfen worden, grosse Stücke Fett und fettes verdorbenes Fleisch sind zuweilen in den Kessel gebracht worden, um das Fett auszukochen. Die Gefahr, solche Gegenstände in einen Dampfkessel zu bringen, braucht kaum erwähnt zu werden. Wie gut auch immer die Anwendung fettiger Substanzen in einigen Fällen gewesen sein mag, es hat andererseits die Ursache zu unzähligen Mühen und Unannehmlichkeiten gegeben. Es ist schon früher gezeigt worden, dass Fett die Ursache zur wirklichen Gefahr in einem Kessel werden kann, und sollte dasselbe deshalb, besonders wenn das Wasser kohlensaure Magnesia und Kalksalze enthält, nicht benutzt werden.

Viele der oben genannten Substanzen werden in verschiedenen Ländern ausgedehnt angewendet, und deren Nutzen in vielen Fällen kann nicht bestritten werden. Die gewöhnliche Mode jedoch, grosse Stücke Talg in einen Kessel zu werfen, kann nicht zu strenge gerügt werden.

Der im Handel vorkommende Talg variirt sehr bedeutend in seinen Eigenschaften, und die gewöhnlich verbreitete Ansicht, dass Talg sobald er mit heissem Wasser in Berührung kommt, gänzlich zerrinnt, ist durchaus nicht immer richtig. Grosse Stücke haben sich in Kesseln vorgefunden, die monatelang unter 3 und mehr Atmosphären Druck gearbeitet haben. Es scheint demnach berechtigt anzunehmen, dass Talg in manchen Fällen seine Eigenschaften völlig ändert, wenn er von Dampf von höherer Temperatur durchdrungen wird. Zu-

weilen verbindet er sich mit den kalkartigen Massen im Kessel und bildet durch das Hin- und Herrollen kleine runde Bälle. Diese lassen sich leicht entfernen, wenn der Kessel gereinigt wird, können aber zu Unannehmlichkeiten Veranlassung geben, wenn sie sich auf die vom Feuer direct bestrichenen Kesselwände legen. Der Talg scheint im Kessel eine unlösliche Kalkseife zu bilden und verharrt in diesem Zustande unzersetzt. Manche der oben erwähnten klebrigen Substanzen lösen oft in der wunderbarsten Weise grosse Schiefer Kesselstein von den Kesselwänden ab, es scheint als ob die fettig klebrigen Stoffe sich zwischen die Kesselwände und die Kesselsteinschicht hineindrängen, und letztere loslösen, so dass es oft nur eines leichten Hammerschlages bedarf, um grosse Stücke abzusprengen. Einige dieser klebrigen Substanzen zeigen diese Wirkung in höherem Maasse wie Oel, dieselben sind zäher und durchdringlicher.

Zu der zweiten erwähnten Classe gehören Lehm, Thon und ähnliche Substanzen, die mit dem Speisewasser zugleich eingeführt werden. Indem sich diese aufs Innigste mit den anderen mineralischen Theilen mischen, verhindern sie das feste Zusammenbacken derselben. Diese Wirkung ist jedoch erstlich durchaus nicht zuverlässig und ferner vermehrt man hierdurch die festen Bestandtheile im Kessel, die theils ihren Weg in die Maschinen finden können, theils aber den niederfallenden Schlamm sehr wesentlich vermehren, der sich, wenn der Kessel ruhig steht, auf den über dem Rost befindlichen Platten absetzt, und leicht zum Ueberhitzen Veranlassung giebt. Man hat die Nachtheile dieser Methode meist erkannt und macht höchst selten noch von derselben Anwendung.

Auch färbende Bestandtheile, wie Blauholz, sind angewendet worden und haben eine ähnliche Wirkung wie die vorstehenden. Man wendet sie zuweilen in Pulverform und in Spänen an, beide Methoden führen zu verstopften Hähnen und Ventilen, und sind deshalb zu vermeiden.

Um das Festsetzen des Kesselsteins an den Blechen zu vermeiden, findet man häufig die Methode angewandt, das Innere des Kessels nach dem Reinigen mit einer fettigen oder schleimigen Substanz zu überstreichen. Eine beliebte Mischung für diesen Zweck besteht aus Talg, Graphit und Schmierseife; auch Wagenschmiere und ähnliche Substanzen werden zuweilen benutzt. Ist dieser Ueberzug dünn und vorsichtig mit einem Pinsel aufgetragen, so ist derselbe weit weniger ver-

werflich als die Einführung von Fett in den Kessel, entweder in Stücken oder flüssig, wo stets die Gefahr herrscht, dass es sich an die heissen Bleche ansetzt und Ueberhitzung verursacht. In vielen Fällen sind Kessel vorsichtig innen gestrichen, welche mit Wasser gespeist wurden, das schwefelsauren Kalk enthält, gänzlich frei von anhaftendem Kesselstein gefunden worden. Zu verdammen ist jedoch hier wie überall das Uebertreiben des Guten, und Kessel, die innen so dick mit Firniss gestrichen sind, dass grosse Pfützen auf den Bodenblechen stehen, dürfen zu Uebertreibungen gezählt werden.

Es bleibt noch eine Art der mechanischen Wirkung fremder dem Speisewasser zugesetzter Theile zu erwähnen, von der gegen Kesselsteinbildung Gebrauch gemacht wird. Es sind dies solche Substanzen, welche für das Ansetzen von Kesselstein gewissermaassen Kerne bilden, um die herum sich eine Schale oder Hülle bildet, und die so entstandenen Körperchen backen nicht so leicht zusammen, wie die homogene mineralische Masse und können deshalb leicht ausgewaschen werden. Sand und Sägespäne verschiedener Holzarten, besonders aber Mahagoniholz, haben für diesen Zweck Verwendung gefunden. Der Haupteinwurf gegen die Verwendung ist der, dass solche Stoffe, besonders die schwimmenden, leicht durch den Dampf mit fortgerissen, ihren Weg in den Cylinder finden und ausserdem Hähne und Ventile versetzen. Ferner vermehren auch diese den Niederschlag und können dadurch schädlich werden.

Eine grosse Anzahl der von Händlern angebotenen Antikesselsteinmittel haben den Zweck, mechanisch zu wirken, andere sollen in der unter 1 angegebenen Weise chemische Wirkung haben, und noch andere zielen danach, die chemische und mechanische Wirkung zu verbinden, und gleichzeitig die Bildung von Kesselstein zu verhüten, sowohl als etwa bereits vorhandenen zu entfernen. Meist werden diese Universalmittel als gegen jede Art Wasser erfolgreich verkauft, und es ist kaum der Mühe werth, gegen eine derartige Behauptung energisch aufzutreten, da sie nach Vorstehendem selbstverständlich falsch sein muss. Eine Composition, die für ein Wasser wirklich gute Wirkung hat, kann in einem anderen Kessel mit anderem Wasser gespeist nicht nur nutzlos, sondern geradezu schädlich sein. Soll dieselbe allen im Wasser vorkommenden Unreinigkeiten wirksam entgegenarbeiten, so muss sie eine Masse Ingredienzien enthalten, die in den meisten Wassern

wenigstens nutzlos, und wenn ungebunden im Kessel, sehr wahrscheinlich schädlich werden können.

Die schon früher gemachte Bemerkung, dass von Händlern oft angerathen wird, die Kessel für längere Zeit nicht abzublasen, um von dem kostbaren Material nichts zu verschwenden und den grösstmöglichsten Nutzen daraus zu ziehen, beobachte man nie, wenn einem das längere Leben und der gute Zustand des Kessels erwünscht sind. Man concentrirt dadurch stets eine grosse Menge schlammartiger Bestandtheile, die am Boden und auf den Flammröhren sowie anderen vom Feuer berührten Flächen Anlass zum Ueberhitzen geben. Ein anderer Umstand, der bei Anwendung dieser Universalmittel zu beachten ist, ist der, dass dieselben oft indirect Anlass dazu geben, den Zustand der Dinge auf die Dauer zu verschlimmern, statt denselben zu verbessern. Der leicht und gern von der Vorzüglichkeit überzeugte Kesselwärter wirft die vorgeschriebene Quantität Stoff in den Kessel, und lässt nun die Dinge ihren eigenen Lauf nehmen, ist er doch bei Anwendung des Universalmittels aller Verantwortlichkeit und mehr, aller Arbeit überhoben. So kommt es denn, dass sehr bald der Kessel in einen sehr schlechten schmutzigen Zustand geräth, aus welchem selbstverständlich Mühen und Kosten erwachsen müssen. Beispiele könnten angegeben werden, wo Kesselbesitzer ungeheure Summen für Antikesselsteinmittel ausgeben und als Resultat das Leben ihrer Kessel um 50 Proc. reducirt haben. Meist bezahlt auch der Käufer unverhältnissmässig hohe Preise für diese Mischungen, selbst wenn sie die erwünschte Wirkung haben sollten.

4. Ausser durch Oberflächen- und Bodenabblasevorrichtungen die Niederschläge aus Kesseln zu entfernen, hat man versucht, einen Theil der Niederschläge auf besonderen Gefässen und Platten, die in passenden Stellen im Kessel angebracht sind, zu sammeln. Zu diesem Zwecke sind Holzstücke, Blechplatten und dergleichen im Kessel aufgehängt worden, die leicht herausgenommen, von den anhaftenden Niederschlägen durch Hämmern oder schnelle Abkühlung gereinigt und wieder in den Kessel gebracht werden können.

In der grössten Vollständigkeit ist dieses Princip durch eine Anordnung befolgt, die ziemlich ausgedehnte Anwendung gefunden hat, den Kessel bis dicht unter die Wasserlinie in einiger Entfernung von den Blechen mit dünnem Eisenblech auszukleiden, also gewissermaassen eine doppelte Schale zu bilden. Hierdurch wird der dem entwickelten Dampfe zum Entweichen

gebotene Raum verringert, die Strömung dadurch vergrössert und die fortgerissenen Mineraltheile über die Oberkante des Doppelbodens geführt, in welchem sie sich in Folge dessen niedersetzen. Diese inneren Bleche werden in solchen Dimensionen ausgeführt, dass sie leicht durch das Mannloch entfernt werden können. Am leichtesten ist die Anordnung natürlich in einfachen cylindrischen Kesseln anwendbar, jedoch hindert dieselbe die innere Besichtigung des Kessels, und ist auch die Entfernung der dünnen Bleche, wenn sehr dick mit Kesselstein und Schlamm bedeckt, keine leichte. Kühlt man einen so ausgestatteten Kessel nicht langsam ab, ehe er abgeblasen wird, so wird auch hier der Niederschlag fest zusammenbacken, sonst mag er bei einiger Vorsicht meist als Schlamm entfernt werden können.

5. Man verhindert das Ablagern fester Bestandtheile in solchen Theilen des Kessels, wo sie am gefährlichsten sind, durch verbesserte Circulation, die entweder nur örtlich oder für den ganzen Kessel in der unter 4 erwähnten Weise, oder durch Circulationsröhren erzielt wird. Es giebt für Flammrohrkessel und andere, besonders auch kleine Verticalkessel mehrere patentirte Anordnungen für verbesserte Circulation, die ausserdem noch den Vortheil haben, die Heizfläche zu vergrössern; für gutes Speisewasser leisten dieselben gute Dienste, ist dasselbe aber schlecht und dem Kessel wird nicht die nöthige Aufmerksamkeit geschenkt, so führen diese Rohre für „verbesserte Circulation“ nur zu grösseren Unannehmlichkeiten.

6. Die Anwendung von besonderen Gefässen, in denen sich die Unreinigkeiten entweder von selbst abscheiden, oder durch chemische Mittel niedergefällt werden, sind seit Jahren im Gebrauch gewesen und gehören zu den besten Anordnungen, vertheuern jedoch sehr oft die Manipulation. Kohlensauren Kalk kann man in offenen oder geschlossenen Gefässen, durch die man in Rohren entweder heisse Gase vom Kessel oder den Retourdampf von der Maschine leitet, fällen; um jedoch schwefelsauren Kalk auszuscheiden, müssen höhere Wärmegrade benutzt werden, und benutzt man hierzu häufig in den Fuchs gelegte Röhrensysteme. Natürlich umgeht man durch diese Anordnungen den Kesselstein nicht, sondern hält nur den Kessel davon frei, hat ihn aber aus diesen Vorwärmern ebenso zu entfernen. Aus diesem Grunde benutzt man auch derartige Apparate weniger, trotzdem man selbst bei theilweiser Reinigung des Wassers schon die Gefahr des Ueberhitzens der Kesselbleche vermindert.

Dr. Clark's Methode der Reinigung besteht darin, dem Wasser zum Zwecke der Reinigung Kalkmilch zuzusetzen, wodurch der zweifach kohlensaure Kalk zersetzt und der gebildete einfach kohlensaure Kalk sich niederschlägt, da er nur in überschüssiger Kohlensäure löslich ist.

Enthält das Wasser ausserdem schwefelsauren Kalk, so kann dieser hierauf durch Soda ausgeschieden werden, oder man kann auch von vornherein Soda zusetzen, wodurch der kohlensaure und schwefelsaure Kalk zersetzt würde, jedoch ist die zuerst angegebene Methode weniger kostspielig. Für diese chemischen Wirkungen sollte das Wasser analysirt und die nöthige Menge Kalk und Soda berechnet werden.

Wo der Salzgehalt Variationen unterworfen ist, lässt sich diese Methode nicht so leicht anwenden, weil die nöthige Quantität der Fällungsmittel jedesmal ermittelt werden müsste. Ueberhaupt scheint diese allerdings delicate Arbeit der Hauptgrund zu sein, weshalb diese sonst sicher gute Reinigungsmethode nicht in allgemeineren Gebrauch kommt. Um diesen Process übrigens vollständig auszuführen, sollte das Wasser filtrirt werden, und diese Vorrichtung macht dann mehrere Bassins nöthig und verlangt mehr Aufmerksamkeit, als dem Speisewasser gewöhnlich zugewandt wird. Wo das Wasser so schlecht ist, dass es anderweitig völlig unbrauchbar wäre, wird diese Methode ausgedehntere Anwendung finden, sonst aber seltener, und schon der nöthige extrae Raum machen dieselben in manchen Plätzen unmöglich.

Viele der Antikesselsteinmittel könnten übrigens mit weit weniger Gefahr für den Kessel selbst in Vorgefässen benutzt werden, ähnlich wie bei obiger Methode.

Enthält das Speisewasser viele fremde Bestandtheile, organische oder auch Lehm, Sand und dergleichen, so muss man zur Filtration seine Zuflucht nehmen, und das Wasser durch Lagen von Kieseln, Knochenkohlen oder andere passende Substanzen drücken. Natürlich müssen diese Filter von Zeit zu Zeit gereinigt werden, was am besten durch Dampf oder heisses Wasser, in der umgekehrten Richtung hindurch gepumpt, geschieht.

7. Das System der Oberflächencondensation, welches bei Marinekesseln unter Anwendung von Salzwasser so wirksam gefunden worden, hat für stationäre Kessel und Maschinen bisher wenig Anklang gefunden und nur geringe Fortschritte gemacht.

Wie bekannt besteht das System darin, den vom Niederdruckcylinder kommenden Dampf in ein Gefäss strömen zu lassen, in dem sich eine Anzahl durch Wasser oder in einigen wenigen Fällen Luft gekühlte Rohre befinden. Meist fliesst das Wasser in einer Richtung durch die Rohre, und der Dampf in entgegengesetzter Richtung um dieselben herum. Hierdurch condensirt sich derselbe, und kann das Condensationswasser fortwährend wieder benutzt werden. Viele Arten Wasser, die anderweitig für Kesselspeisung unpassend sind, und Anlass zu unzähligen Uebelständen geben, könnten auf diese Weise verwendet werden.

Man hat mit Oberflächencondensationswasser die Erfahrung gemacht, dass, wenn zu rein angewendet, das Wasser die Bleche angreift, und erlaubt deshalb zuerst die Bildung einer dünnen Kesselsteinschicht zum Schutze der Bleche, ehe man Condensationswasser benutzt. Diese schützende Schicht muss von Zeit zu Zeit durch kalkhaltiges Wasser, nöthigenfalls künstlich hergestellt, erneuert werden.

In manchen Oberflächencondensatoren hat man bemerkt, dass sich die Dampfseite der Rohre mit einer schmierigen, fettigen Schicht überzieht, die, ein schlechter Wärmeleiter, durch eine dünne Lösung von Soda oder Pottasche zu entfernen ist.

Benutzt man als Kühlwasser in den Condensatoren Seewasser, so hat man selten oder nie Schwierigkeiten durch mineralische Niederschläge, bei Anwendung von frischem kohlensaurem, kalkhaltigem Wasser dagegen scheidet sich letzterer in Folge der erhöhten Temperatur in den Rohren aus, und muss mchanisch entfernt werden.

Vielleicht mag schon dieser Umstand dazu beitragen, die allgemeinere Einführung der Oberflächencondensation für Landkessel zu beschränken.

Ein anderer Uebelstand, der sich in Oberflächencondensatoren gezeigt hat, ist der, dass das aus dem Dampf gebildete Wasser grössere oder geringere Mengen des im Cylinder verwendeten Schmiermittels enthält, und dadurch den Kesselblechen schädlich wird. Dieser Umstand ist von vielen dahin erklärt worden, dass durch die Einwirkung des heissen Wassers und Dampfes das Fett zersetzt wird, und Fettsäuren entstehen, die das Zerfressen der Bleche beschleunigen. Diese Zerstörung tritt häufig unter anhängenden Fettklumpen in kleinen Flecken auf, und da sich hier oft gleichzeitig kleinere Theile von

Kupfer oder Messing in das Fett eingehüllt gefunden haben, hat man an galvanische Wirkung geglaubt. Da die Anwesenheit von diesen Metallen jedoch nur selten ist, und das Fleckenrosten an allen Stellen vorkommt, so ist diese Annahme ohne Begründung. Die Wirkung dieser Fettsäuren kann durch Zusatz von kohlensaurem Kalk verhindert werden, indem sich dadurch unlösliche Seifen bilden, die leider wieder die unangenehme Eigenschaft haben, sich auf Rohren und Blechen abzusetzen und zum Ueberhitzen Veranlassung zu geben. Ueber diesen Umstand sind sehr ausgedehnte Experimente angestellt, und ist sehr viel geschrieben worden, bisher jedoch noch immer ohne entscheidende Resultate.

8. Eine der gefährlichsten und doch häufig angewandten Methoden, bereits vorhandenen Kesselstein aus dem Kessel zu entfernen, ist, denselben durch plötzliche Temperaturänderung loszusprengen.

Dieses Manöver wird von vielen Kesselwärtern allwöchentlich mit der grössten Ruhe ausgeführt, der Kessel wird unter vollem Druck, sofort nach Abstellen der Maschinen, abgeblasen und dann in den noch heissen Kessel entweder kaltes Wasser gepumpt, oder die Seiten und Rohre mit Hilfe eines Schlauches bespritzt. Hierdurch fällt entweder der Kesselstein ab, oder er löst sich wenigstens soweit, dass er später leicht durch einige Hammerschläge entfernt werden kann, in einigen Fällen bemüht man sich aber nicht weiter, sondern überlässt die Arbeit des gänzlichen Lösens der Zeit und dem Einflusse der Hitze und Bewegung während der nächsten Woche. Dann wird einfach ausgefegt oder ausgewaschen, und das Spiel beginnt von Neuem. Es ist wohl kaum nöthig, an dieser Stelle das wirklich Ruchlose dieses Verfahrens zu besprechen, genüge es, dass unzählige gesprungene Bleche, Sternplatten und selbst Explosionen, also der Verlust von Menschenleben im Gefolge, dieser Manier zu verdanken sind.

Leider kommen Fälle vor, wo gewissenlose Händler von Antikesselsteinmitteln die Kesselwärter bestechen, und um nun dem Besitzer wirkliche Resultate zeigen zu können, greift der Wärter zu oben angegebenem Mittel.

Aehnlich, wenn auch nicht ganz so gefährlich, verhält es sich mit der anderen Methode, den Kessel abkühlen zu lassen und darauf durch heissen oder überhitzten Dampf zu füllen, wodurch sich die Kesselsteinkruste schneller ausdehnt als das Blech und in Folge dessen abspringt. Dass

durch die plötzliche Erhitzung leckende Nietnähte entstehen müssen, ist selbstverständlich, und überdies ist diese Methode oft nicht erfolgreich, besonders wenn der Kessel nicht ganz kalt und trocken ist, weil so lange der Kesselstein noch nass ist, die Hitze nicht den erwünschten Einfluss haben wird.

9. Hat sich einmal eine Kesselsteinschicht gebildet, so ist die sicherste Manier die, sie durch vorsichtiges Losschlagen mit geeigneten Instrumenten zu entfernen. Allerdings ist dies meist eine sehr mühsame und unangenehme Arbeit, besonders wenn der Kessel in einigen Theilen schwer zugänglich und die Kesselsteinschicht sehr widerspenstig ist. Das Hämmern ist in solchen Fällen oft gänzlich unmöglich, und der Scharfsinn des Ingenieurs wird auf die Probe gestellt, geeignete Instrumente zum Loslösen des Steines zu erdenken. Natürlich muss diese Arbeit stets sehr vorsichtig, und am besten mit nicht zu schweren Hämmern ausgeführt werden, damit die Bleche und Nieten nicht zu sehr beschädigt werden.

Sind durch zu harte Behandlung die Bleche rauh geworden, so setzt sich der Kesselstein nur um so fester in diese Unebenheiten und bietet dadurch grössere Schwierigkeit beim Losklopfen. Auch säurehaltigen Wassern wird durch eine zerhackte Oberfläche mehr Gelegenheit zum Angriff gegeben.

10. Von Zeit zu Zeit haben sogenannte magnetische oder auch elektrische Wirkungen ihre Erscheinung zur Verhütung und Entfernung von Kesselstein gemacht. Wie in einigen derartigen Apparaten elektrische oder magnetische Strömungen erzeugt worden sind, ist durchaus nicht klar, und in vielen Fällen entschieden zweifelhaft. Angenommen, selbst ein elektrischer Strom würde erzeugt, so kann derselbe doch nur von geringer Stärke sein, und seine Wirkung, über deren Natur ein sehr geheimnissvolles Dunkel zu herrschen scheint, in Bezug auf Kesselsteinbildung folglich nur eine geringe. Häufig werden wohl die hier und da von glaubwürdigen Zeugen beobachteten Resultate nicht durch elektrische Strömungen, sondern durch Geld, welches dem Kesselwärter vom Apparatenhändler in die Hand gedrückt wurde, hervorgebracht worden sein. Hat doch der Wärter nur nöthig, zu dem oben erwähnten Kühlprocess in wirksamster Weise seine Zuflucht zu nehmen, um einen Effect hervorzubringen, der ebenso gut der Elektricität als irgend welcher anderen Wirkung in die Schuhe geschoben werden kann, besonders wenn man mit Laien zu thun hat. In letzter Zeit sind diese elektrischen Apparate ausser Mode

gekommen, jedoch werden sie sicher über kurz oder lang wieder auftauchen.

11. Die einfachste und zweifellos deshalb am häufigsten vernachlässigte Manier, das Festbrennen der Niederschläge zu verhindern, ist die, den Kessel vor dem Abblasen so langsam wie möglich sich abkühlen zu lassen, und ihn womöglich einige Zeit mit dem kalten Wasser stehen zu lassen, ehe man ihn entleert, welches übrigens häufig geschehen muss. Durch diese einfache Vorsicht, die allerdings in den meisten Fällen einen Reservekessel nöthig macht, der aber schon aus anderen Gründen sehr wünschenswerth ist, verhindert man feste Kesselsteinbildung auf das Wirksamste, und erlaubt selbst festgewordenen schwefelsauren Salzen sich wieder aufzulösen. Beim endlichen Entleeren wird man nun fast nur Schlamm und Schmutz zu entfernen haben, eine, wenn auch unangenehme, so doch ungleich geringere Arbeit als das Ausklopfen.

Man wird oft Schwierigkeit haben, Arbeiter zu finden, die in dem nassen schlammigen Kessel herumkriechen, und den Schlamm aus allerhand unzugänglichen Plätzen entfernen, ein Umstand, der gegen diese Methode eingeworfen werden könnte, jedoch geschieht die Arbeit erstlich im kalten und nicht im heissen Kessel, und kann ferner, wo Wasserdruck vorhanden ist, durch einen kräftigen Wasserstrahl wesentlich erleichtert werden. Befolgt man diese Methode und wendet, wenn nöthig, eine geringe Quantität Soda an, so kann man fast stets den Kessel von den unangenehmen und gefährlichen Folgen harter fester Kesselsteinbildung freihalten. Der Vorwurf, dass man bei dieser Methode häufig den Abblasehahn und das Rohr verstopft, trifft entschieden den letzteren und nicht die Methode selbst, und hat man bei Anlage des Kessels und Wahl der Abblasevorrichtung dafür zu sorgen, dass dergleichen Vorfälle nicht vorkommen können. Ist es nothwendig, einen Kessel schnell abzukühlen, so geschieht dies am besten durch Einpumpen kalten Wassers in demselben Maasse, als das warme abfliesst, hierdurch geschieht die Abkühlung weit allmäliger als wenn man den Kessel erst völlig entleert, und ist daher weniger nachtheilig. Wie oft ein Kessel abzublasen und zu reinigen ist, darüber lässt sich eine allgemein giltige Antwort nicht geben, und richtet sich die Zeit wesentlich nach der Beschaffenheit des Wassers. Unter gewöhnlichen Umständen werden 500 bis 700 Arbeitsstunden eine passende Zeitdauer sein, nur bei sehr reinem Wasser darf man länger arbeiten, bei sehr unreinem blase man in kürzeren Zwischenräumen ab.

Neuntes Capitel.

Gebrauch und Abnutzung der Kessel.

Von dem Augenblicke an, wo ein Kessel in Betrieb gesetzt wird, wirken vernichtende Kräfte auf denselben ein, die in ihrer Wirkung mehr oder weniger gefährlich sind, und theils unabwendbar an ihrem Werke der Zerstörung arbeiten. Diese Kräfte können in chemisch und mechanisch wirksame getheilt werden. In vielen Fällen treten dieselben unabhängig von einander auf, jedoch finden wir auch häufig beide Wirkungen vereinigt, die Zerstörung eines Kessels hervorbringen. Natürlich wird dies Ende langsamer oder schneller erreicht werden, je nach den dabei waltenden Umständen, die meist schwer zu entdecken und mit Sicherheit festzustellen, und oft noch schwerer zu bekämpfen sind.

Das Hauptübel, unter welchem Kessel zu leiden haben, ist die Verrostung. Dieselbe geht sowohl innerlich als äusserlich vor, jedoch ist die letztere meist die gefährlichere.

Die innere Verrostung zeigt sich in verschiedenen Formen, deren jede zwar ihre Eigenthümlichkeiten besitzt, die aber selten scharf ausgeprägt zu finden sind, meist treten diese Formen mehr oder weniger gemischt auf. Dieselben mögen sich bezeichnen lassen als 1. gleichmässiges Verrosten und Verzehren; 2. in Flecken vereinzelt oder gruppenweise, und 3. Furchen oder Riefen. Die erstgenannte ist die Folge chemischer Wirkung des Speisewassers oder anderer in den Kessel gebrachter Substanzen; die zweite findet ihre Ursache ebenfalls in chemischer Wirkung, welche nach einer ziemlich verbreiteten Ansicht durch galvanische Strömung unterstützt wird, und die dritte wird durch die vereinigte Wirkung chemischer und mechanischer Kräfte verursacht.

Unter gleichmässiger Verrostung ist die Art von Verzehrung der Bleche und Rohre verstanden, die durch das Speisewasser oder andere Substanzen dieselben in einer mehr oder weniger gleichmässigen Weise angreift, auch wohl in grösseren Flecken, jedoch ohne wirkliche Begrenzung, so dass es schwer ist anzugeben, wo dieselbe beginnt oder aufhört.

Trotzdem diese Wirkung selten eine so gleichförmige ist, wie das Rosten von Blechen unter gewöhnlichen Umständen, so hat es doch in seiner Erscheinung Vieles damit gemein, und es ist nicht schwer, diese Art der Verrostung zu entdecken. Selbst wenn der Kessel mit einer ziemlich dicken Kesselsteinschicht bedeckt ist, lässt sich die Anwesenheit derselben oft, nachdem der Kessel entleert ist, durch roth gefärbte Sprünge, das sogenannte Bluten der Bleche, erkennen. In einigen Fällen, selbst wo die Bleche frei von Kesselstein sind, entgeht die gleichförmige Verzehrung der Bleche in Folge der gleichmässigen Oberfläche und der Abwesenheit einer entschiedenen Begrenzung häufig der oberflächlichen Untersuchung. Wenn entdeckt und erkannt lässt sich die Tiefe, bis zu welcher dieselbe in das Material gedrungen ist, oft nur dadurch feststellen, dass man Löcher in die geschwächten Stellen bohrt und die Dicke derselben misst. Häufig lässt man sich durch die anscheinend volle Stärke des Bleches an den Nietnahtkanten täuschen, bedenke jedoch, dass beide Blechplatten gleichmässig verzehrt sein können, und das Blech, trotzdem es in der ursprünglichen Dicke über dem anderen hervorragt, ganz bedeutend geschwächt sein kann.

Einer der eigenthümlichsten Umstände in Verbindung mit Verrosten und Verzehren der Bleche aller Arten ist die anscheinend willkürliche Weise, in der dieselbe aufzutreten scheint. In zwei Kesseln z. B., welche in allen Verhältnissen genau gleich, mit demselben Wasser gespeist und ganz gleichartig behandelt werden, findet man vielleicht einen in den Frontblechen und in halber Höhe, den anderen in der hinteren unteren Ecke angegriffen. Hier muss man entschieden auf verschiedene Qualität der Bleche schliessen, welche natürlich sehr bedeutenden Einfluss auf das anscheinend launenhafte Betragen des Wassers haben muss. Das Wasser von manchen Brunnen und Schächten und ebenso Flüssen und Canälen greift die Platten höchst energisch in und dicht unter der Wasserlinie an, während in allen anderen Theilen der Kessel vollkommen unbeschädigt ist. In einigen Fällen zeigt sich

dieser örtliche Einfluss sehr ausgeprägt; in horizontalen Kesseln ist die Breite des Gürtels oft auf 150 bis 200 mm beschränkt, während dieselbe in verticalen Kesseln mit sehr variabelem Wasserstande mit diesem schwankt, und oft auf eine Breite von 500 bis 600 mm ausgedehnt ist. In manchen Gegenden findet man Kessel durch Brunnen- oder Oberflächenwasser nur am Boden angegriffen, während in anderen die Rohre mehr leiden als der Mantel, und umgekehrt. In einem Falle scheint das Verrosten seinen Sitz vorzugsweise an der unteren Seite des Flammenrohres zu haben, während in einem anderen die Seiten von Flammenrohren und Mantel an der engsten Stelle am meisten angegriffen sind. Zuweilen scheint das Wasser ganz besondere Vorliebe für Nietköpfe und Blechkanten zu zeigen, während die ebenen Blechflächen gänzlich unbeschädigt sind. Manchmal sind besonders die Ringnähte angegriffen, in anderen Fällen leiden diese weniger und die Längsnähte haben am meisten zu leiden; aus 100 Nieten sind 10 stark zerfressen, die anderen erscheinen vollkommen gut.

Stehbolzen leiden gewöhnlich mehr als die Bleche, und im Gewinde ist ein Bolzen oft gefährlich angegriffen, während der nicht geschnittene Theil desselben gänzlich unbeschädigt ist. Kurz, es lässt sich kein Beispiel von eigenthümlicher Verrostung im Kesselinnern denken, welches nicht auch bei zahlreichen Untersuchungen hier und da gefunden würde. Dass alle diese willkürlich erscheinenden Wirkungen ihre wohl begründeten, wenn auch oft schwer oder nicht zu ergründenden Ursachen haben, ist selbstverständlich, es giebt fast ebensoviel verschiedene im Kessel in Betracht kommende Ursachen, als wir oben Wirkungen angeführt haben, jedoch erfordert es langjährige scharfe Beobachtung verschiedener Fälle, um immer das richtige Mittel gegen diese gefährlichen Angriffe einschlagen zu können. Die Qualität der Materialien, die chemische Zusammensetzung des Wassers, die daraus resultirenden specifischen Gewichtsunterschiede, die Circulation des Wassers im Kessel, die höhere Temperatur der Bleche, bei welcher sich die Wirkung der meisten chemischen Einflüsse vergrössert, und viele andere mehr versteckte Ursachen bringen diese eigenthümlichen Wirkungen in ihrer Mannigfaltigkeit hervor.

Wasser, welches schwefelsauren Kalk enthält, zeigt im Allgemeinen mehr schädliche Wirkung auf die Bleche, als solches mit kohlensaurem Kalk. Unter der Kesselsteinschicht

des ersteren findet man meist eine dünne Schicht schwarzes Eisenoxyd, welches sich jedesmal mit dem Kesselstein loslöst und sich mit der neuen Schicht auch wieder neu bildet.

Ein anderer eigenthümlicher und erwähnenswerther Punkt ist das Verhalten von Blechen und Nieten bei verschiedenem Wasser, nachdem dieselben mehr oder weniger verrostet sind. In den meisten Fällen löst sich die Oxydschicht leicht von dem gesunden Metalle los, häufig ohne besondere Arbeit schon mit dem Kesselstein, zuweilen jedoch haftet dieselbe so fest an dem Bleche, dass man sie nur mit Hilfe von Hammer und Meissel losschlagen kann. Ist diese Schicht, wie es häufig vorkommt, vollkommen eben, so entgeht dieselbe oft der oberflächlichen Beobachtung, und der Kessel wird für völlig gesund erklärt.

Es ist die Ansicht vieler, dass ein geringer Kohlenstoffgehalt im Stahl denselben vor dem Rosten schützt, und mit manchen Wassern ist dies zweifellos der Fall, mit anderen scheint der Einfluss jedoch gerade entgegengesetzt zu sein.

Die zweite Art des Rostens im Kesselinnern unterscheidet sich von der ersten wesentlich dadurch, dass sie stets scharf begrenzt und leichter erkenntlich ist. Sie tritt vereinzelt oder in Gruppen in Flecken und Narben auf, deren Grösse von wenigen Millimetern bis zu 30 cm und deren Tiefe bis zu 6 mm variirt. Diese Form des Rostens erscheint entschieden auf die allerlaunenhafteste Weise, zuweilen ist jede Platte eines Kessels unter der Wasserlinie oder sogar im Dampfraum davon angegriffen, in anderen Kesseln ist die Wirkung völlig localisirt, und kann über oder unter der Wasserlinie auftreten, während der Rest der Bleche keine Spur von Zerfressen zeigt. Kessel, die, von derselben Wasserquelle gespeist, völlig gleichartig und von demselben Material gebaut und zu gleicher Zeit gesetzt worden sind, finden sich zuweilen höchst eigenthümlich in verschiedener Art angegriffen. Von einem halben Dutzend Kesseln sind mehrere Bleche in einem Kessel so sehr beschädigt, dass dieselben erneuert werden müssen, während die sämmtlichen anderen Kessel sich im besten Zustande befinden.

Dies mysteriöse Auftreten dieser Art der Verrostung in Narben und die eigenthümlichen dabei obwaltenden Umstände sind noch immer nicht völlig befriedigend aufgeklärt. Es wurde eine Zeit lang, wo man es besonders in Locomotivkesseln mit messingenen Feuerrohren bemerkte, auf galvanische Wirkung geschoben; als sich jedoch dieselben Merk-

male in Kesseln zeigten, in denen kein Messing oder Kupfer vorhanden war, musste diese Theorie zusammenbrechen. Später versuchte man diesen Umstand durch galvanische, unter den verschiedenen, die Platte bildenden Abfallstücken auftretende Strömungen zu erklären, indem man annahm, dass dieses Abfalleisen verschiedenes elektrisches Verhalten zeigen könnte; das elektropositive Metall sollte auf die im Wasser befindlichen chemischen Bestandtheile wirken und eine Zersetzung herbeiführen. Die Vertheidiger dieser Ansicht mussten natürlich zugeben, dass bei Verwendung eines vollkommen homogenen Metalls diese Wirkung sich nicht zeigen könnte, dass also z. B. Gussstahlbleche davon frei sein würden. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass Gussstahlbleche bei Anwendung mancher Wasser ebenso und mehr angegriffen werden als Eisen, während andere Wasser, die Eisenplatten sehr energisch zerstörten, auf Stahlbleche keinen schädlichen Einfluss hatten. Das Narbenrosten von Gussstahlplatten beweist also demnach entweder, dass dasselbe nicht ein elektrohomogenes Metall ist, oder aber, dass diese Rostwirkung nicht auf galvanischen Einfluss zurückgeführt werden kann, es sei denn, dass das Wasser alle hierzu nöthigen Elemente enthielte. Man will auch aus der Schärfe der Kanten dieser Narben auf die Intensität der galvanischen Wirkung schliessen.

Nach und trotz allem, was über diesen Gegenstand geschrieben und gesprochen worden, bleibt es doch möglich, denselben einfach als chemische Wirkung ohne allen Beistand galvanischer Strömungen zu erklären, und lässt sich dies auch in fast allen Fällen durchführen.

Die concentrirten Säuren des Wassers werden natürlich die schwächsten Theile der Bleche angreifen. Ob die Bleche im Dampfraum angegriffen werden oder nicht, wird davon abhängen, ob die Säuren flüchtig sind oder nicht, oder auch ob die flüssigen Säuren durch Ueberschäumen in den Dampfraum gerissen werden können.

Das schnelle Verzehren der eisernen Platten in Locomotivfeuerkästen dicht um die kupfernen Stehbolzen herum wird häufig galvanischen Wirkungen zugeschrieben. In wie weit dies der Fall sein mag ist schwer zu bestimmen und soll hier nicht weiter erörtert werden, es unterliegt jedoch keinem Zweifel, dass das Zerstören der Bleche um die Löcher herum in ganz bedeutendem Maasse der Beschädigung durch das Lochen zugeschrieben werden kann, da das Lochen das Eisen

stets in einer Weise anstrengt, die es gegen äussere und chemische Wirkungen empfindlicher machen. Gebohrte Löcher haben häufig bessere Resultate ergeben und die Bleche halten länger aus ohne beschädigt zu werden, als wenn sie gelocht wurden.

Die rapide Verzehrung von Locomotivfeuerkasten-Stehbolzen, die man häufig mit gewissen Arten Speisewasser an der Stelle bemerkt, wo dieselben durch Kupferplatten gehen, ist vielleicht einer der besten Beweise für die Anwesenheit galvanischer Wirkungen. Stehbolzen von 23 bis 25 mm Durchmesser werden zuweilen in wenigen Jahren bis auf die halben ursprünglichen Durchmesser zerfressen, wo der Bolzen im Loche sitzt, während das Gewinde in der Platte völlig scharf bleibt und der Bolzen selbst etwa 25 mm vom Bleche entfernt keine Spur von Zerstörung zeigt.

Häufig beginnt diese Zerstörung der Stehbolzen zuerst bei den Bolzen, die der Decke am nächsten liegen, weil sich hier die Biegungen bei verändertem Druck und Temperatur am auffallendsten fühlbar machen, und die mechanische Wirkung der chemischen in der Zerstörung hilft. In Bezug auf die besten Mittel, welche gegen inneres Verrosten und Zerfressen angewandt werden können, ist es unzweifelhaft das Sicherste, Wasser, welches diese schädliche Wirkung besitzt, zum Kesselspeisen nicht zu verwenden. In Bergwerken, wo das Speisewasser meist Tiefwasser ist, lässt es sich zuweilen durch Oberflächensammelwasser ersetzen, welches gewöhnlich freier von Säuren ist, und in Städten kann man das vielleicht schädliche Brunnenwasser durch solches von der Stadtwasserleitung ersetzen. Es kommen jedoch Fälle vor, in welchen der Preis des Stadtwassers ein so bedeutender ist, dass man es billiger findet, das säurehaltige Brunnenwasser zu benutzen und alle fünf bis sechs Jahre einen neuen Kessel anzulegen. Dass man hierbei immerhin Gefahr läuft, ist einleuchtend, da man geneigt sein wird, den Kessel bis zum letzten Moment im Betriebe zu halten.

Findet man, dass das Wasser die Bleche nur in gewissen Stellen, z. B. in der Wasserlinie, angreift, so ist es schon aus ökonomischen Rücksichten anzurathen, in solchen Stellen dickere Platten anzuwenden und dieselben so anzuordnen, dass die Nietnähte, welche stets die schwächsten Stellen im Kessel sind, nicht in diese Region kommen, wenn es zu vermeiden ist. Es existirt ein gewisses Vorurtheil gegen die

Anwendung verschieden starker Bleche in einem neuen Kessel, weil dadurch die Gleichförmigkeit der Spannungen in der ganzen Structur gestört wird, ein Umstand, der schon ohnehin zu häufig auftritt, ohne jemals erwünscht zu sein. Hiergegen lässt sich jedoch die Frage aufwerfen, ob es von grösseren Uebelständen begleitet sei, die ungleiche Stärke im Kessel im Anfange oder später, näher dem Ende seiner Existenz zu heben, da doch eine solche Ungleichförmigkeit früher oder später unter den eben betrachteten Umständen stattfinden muss. Es kann wohl kaum einem Zweifel unterliegen, dass man in einem neuen Kessel, wo man mit einem grösseren Sicherheitscoëfficienten arbeitet, eher ungleiche Stärke haben darf, als durch allmälige Schwächung der Bleche, welche in gewissen Stellen eine Reparatur früher nöthig machen.

Hat man keine besondere Auswahl des Speisewassers, so ist in den meisten Fällen die einfachste Methode, das Zerfressen der Bleche zu vermeiden, die im Wasser enthaltenen Säuren zu neutralisiren, und kann dies durch Alkalien entweder vor oder während des Speisens geschehen. Am besten eignen sich hierzu Soda, Rohsoda und Aetznatron, welche aufgelöst und continuirlich mit dem Speisewasser eingeführt besser wirken, als in grösseren Dosen auf einmal in den Kessel gebracht. Es darf hierbei jedoch nicht übersehen werden, dass die Bildung starker Salzlaugen, ähnlich wie bei Anwendung von Seewasser, dem Kessel ebenfalls schädlich werden, und ein Ueberschuss von Soda würde diesen Umstand verschlimmern. Man muss deshalb um eine Sättigung zu vermeiden zum häufigen Abblasen, sowohl vom Boden als von der Oberfläche schreiten.

Auch Filtration und Condensation bewähren sich bei sauren Wassern, ähnlich wie bei Seewasser; findet man, dass gereinigtes Wasser aus dem Filter oder Condensator die Bleche angreift, so lässt man zuerst etwas Kesselstein im Kessel bilden, indem man mineralisches Wasser benutzt, und kann dann später mit dem gereinigten Wasser vorschreiten. Hierüber ist schon im vorigen Capitel gesprochen worden.

Das Riefen und Furchen von Kesselblechen findet sich in zwei verschiedenen Arten, je nach der Ursache, ob mechanisch oder chemisch und mechanisch vereinigt, jedoch lassen sich die Resultate nicht absolut unterscheiden, da fast stets eine grössere oder geringere gemeinsame Wirkung stattfindet. Die erste Art des Furchens ist nur durch das abwechselnde

Hin- und Herbiegen und die fortwährend sich ändernden Spannungen hervorgerufen, während bei der zweiten Art die zerfressende Wirkung des Speisewassers Antheil an der Zerstörung nimmt, und diese natürlich beschleunigt. Im ersten Falle findet man die Bleche oder sonstigen Theile oft tief in das Metall hinein gefurcht, ähnlich wie bei einem Riss oder Bruch, an der Oberfläche oft kaum sichtbar, oder nur sehr geringe geöffnet. Aus diesem Grunde entzieht sich ein derartiges Furchen auch oft dem Auge, und Bleche, die in Wahrheit schon halb durchgearbeitet sind, erscheinen völlig gesund. Enthält das Wasser Säuren, so greifen diese die rauhe blossgelegte Oberfläche sehr energisch an, und führen die schnelle Zerstörung herbei. Am häufigsten findet man diese Furchen in stationären Flammenrohrkesseln an der Stelle, wo das Rohr mit der Stirnwand verbunden ist, jedoch fast nur oben am Rohr und am Vorderende mehr als hinten. Die Furche ist fast stets in der Mitte oben am tiefsten, und erstreckt sich nach beiden Seiten um das Rohr herum, an Tiefe abnehmend. Die Länge richtet sich meist nach der Dauer und der Grösse der zerstörenden Kräfte. Entweder findet sich diese Furche nun in der Stirnwand, oder aber in der Ecke des Winkeleisens oder Flantsches, je nachdem das Rohr befestigt ist, und richtet sich die Wahl des Ortes nach der verhältnissmässigen Stärke der beanspruchten Theile. Die Winkeleisenringe sind meist 12 mm stark, und in den Ecken ausgerundet; ist nun die Stirnwand nicht mehr als 14 mm dick, so leidet gewöhnlich die letztere, ist dieselbe jedoch stärker, wohl gar bis zu 19 mm, so muss das Winkeleisen herhalten. Ist das Flammenrohr am Ende geflantscht, so wird meist der Flantsch der schwächste Theil sein und wird in Folge dessen angegriffen, besonders wenn er sehr scharf gebogen ist.

Die Ursache dieses Furchens ist das zu feste unbiegsame Verstreben und Versteifen der Stirnwände durch Blech- und andere Anker. Da sich nun besonders bei innerer Feuerung das Flammenrohr mehr ausdehnt als der Kesselmantel, und die Stirnwand dieser Ausdehnung nicht nachgeben kann, so tritt mit der Zeit Bruch ein. Bei innerer Feuerung erhitzt sich nur der obere Theil des Rohres bis an die Feuerbrücke, während der untere Theil, durch Asche zum Theil bedeckt, durch die einströmende Luft gekühlt, und nur durch die Strahlung vom Feuer, nicht aber durch directe Berührung mit der Flamme wie der obere Theil, erhitzt, verhältnissmässig

kalt bleibt. Hinter der Brücke, vorausgesetzt das Rohr wird von Asche frei gehalten, wird die Erwärmung eine gleichmässigere sein, jedoch wird immerhin der obere Theil in directer Berührung mit der Flamme und den heissesten Gasen den grösseren Theil der Wärme erhalten, und dies vermehrt sich mit der Ansammlung von Flugasche im unteren Theile des Rohres. Wir dürfen in Folge dessen als sicher annehmen, dass unter den gewöhnlichen Betriebsverhältnissen der obere Theil des Flammenrohres bedeutend heisser ist als der untere, und folglich die Theile, welche dasselbe hier mit den Stirnwänden verbinden, grössere Spannungen auszuhalten haben.

Diese Longitudinalausdehnung gleicht sich bis zu einem gewissen Grade durch das Ausbauchen der Stirnwände, wenn solches möglich ist, und theils durch das Nachobenwölben des Flammenrohres aus. Dass ein Steigen des Rohres in oder nahe der halben Länge wirklich stattfindet, ist an einem Kessel von circa 9 m Länge durch Experimente constatirt worden, und betrug beim Sieden des Wassers dies Steigen schon volle 10 mm in der Mitte. Eine so bedeutende Erhöhung kann durch blosse Umfangsausdehnung nicht erklärt werden, und muss durch das Biegen des Rohres nach oben hervorgerufen sein. Die Biegung muss nach oben stattfinden, weil der obere Theil der längere ist. Wäre nun diese Longitudinalausdehnung, die natürlich mit der erhöheten Temperatur ganz allmälig stattfindet, nicht durch andere Verhältnisse beeinflusst, so würde sich das Furchen an der Stirnwand hierdurch nicht erklären lassen.

Dem ist aber nicht so, beim jedesmaligen Oeffnen der Feuerthür tritt kalte Luft ins Rohr und verursacht plötzliche Contraction, und dieser Wirkung ist das Furchen und Riefen zweifellos zuzuschreiben, weil hierdurch ein fortwährendes Hin- und Herbiegen der Stirnwände oder Oeffnen und Schliessen der Winkeleisen oder Flantschen verursacht wird, welches früher oder später die Zähigkeit des Materials ermüden und zu einem Oberflächenbruch oder Riss führen muss, der nun bei jedesmaliger neuer Einwirkung sich allmälig vertieft und erweitert.

Die Mittel dieses Furchen zu verhüten sind einfach Die beste und einfachste Methode ist, die Steifigkeit der Stirnwände zu verringern, so dass das Hin- und Herbiegen nicht auf eine Linie concentrirt ist, und erreicht man dies dadurch, dass man zwischen der Rohrbefestigung und den radialen Blech-

zwickelankern hinreichend Platz lässt, so dass sich das Blech hier der ungleichen Ausdehnung zwischen Rohr und Mantel anpassen kann. Man wird 200 mm selbst für Stirnbleche bis zu 13 und 16 mm Dicke ausreichend finden. Die Anwendung des sogenannten „Bowling"-Ringes, schon Seite 140 beschrieben, erlaubt eine freiere Ausdehnung des Rohres und reducirt dadurch die auf die Stirnwand fallenden Spannungen, wodurch dann das Furchen vermieden wird.

Das Furchen ist nun zwar meist an der oberen Seite der Flammenrohre am bedeutendsten, jedoch findet man z. B. bei Lancashire-Kesseln, wenn die Rohre zu dicht zusammenstehen, häufig die Stirnwand zwischen beiden gefurcht, oder bei Anwendung eines sogenannten Brillenstückes zur Befestigung beider Rohre, wo für Winkeleisenringe kein Platz ist, findet man diese Brillenstücke oft durch Furchen geschwächt, meist in einer verticalen Linie. Die Ursache hierfür ist zweifellos die ungleiche Ausdehnung der beiden Flammenrohre, veranlasst durch wechselndes Feuern der beiden, wenn sie einzeln einen selbstständigen Rost haben. Zu heilen ist dies nur dadurch, dass man das Brillenstück entfernt, die Flammenrohre an den Enden conisch einzieht und durch Flantschen oder Winkeleisenringe so befestigt, dass zwischen beiden an der Stirnwand noch etwas freier Raum bleibt.

Es kommt nur selten vor, dass man in dem Theile der Stirnwand zwischen Rohr und Mantel in Kesseln mit zwei Flammenrohren ein Furchen findet, jedoch sind auch einige derartige Fälle zu erwähnen, die wegen der Unzugänglichkeit dieser Stellen im Kessel leicht übersehen werden können. Die Ursache für Furchen an dieser Stelle ist nicht so klar, wie an den übrigen bereits erwähnten, jedoch kommen diese Fälle vorzugsweise dann vor, wenn die Roste sehr tief liegen, die Stirnwand sehr dick ist, und die Wasserräume seitlich sehr enge sind. Furchen an der unteren Seite der Stirnwand und des Flammenrohrs sind äusserst selten.

Unzweifelhaft hat die Anwendung heissen Speisewassers und Einführung desselben nahe der Wasserlinie einen sehr günstigen Einfluss, es verbessert die Circulation, gleicht dadurch die Temperatur im Kessel besser aus und vermindert in ganz bedeutendem Grade das Furchen an den Enden. Kessel mit „Galloway"-Rohren sind fast stets weit weniger dem Furchen ausgesetzt als gewöhnliche Flammenrohrkessel,

welche in derselben Weise verankert sind, und ist dies wahrscheinlich der besseren Circulation zuzuschreiben.

Die durch Furchen und Lecken in Folge von zu steif verankerten Stirnwänden verursachten Unannehmlichkeiten haben einige Fabrikanten veranlasst, diese Verankerungen wegzulassen und zur Verstärkung einfach ein T oder starkes Winkeleisen auf die Stirnwand zu nieten. Das Thörichte dieser Manier ist schon an anderer Stelle ausführlicher besprochen worden.

Andere Beispiele von Furchen verursacht durch die Variationen im Dampfdruck im Innern des Kessels finden ebenfalls häufig statt. So bemerkt man oft an den Flantschen oder Winkeleisenringen von Dampfdomen, da wo dieselben am Kesselmantel befestigt sind, ganz gefährliche Furchen, besonders wenn ein zu grosser Theil des Mantels weggeschnitten und der Dom anderweitig nicht verankert ist. Noch bedeutender tritt dies auf, wenn flachwandige Gefässe, Dampfsammler in Kofferform, die man zuweilen noch auf alten Kesseln findet, durch Flantschen oder Winkeleisen am Mantel befestigt sind. Durch das fortwährende Ausbauchen und wieder in seine ursprüngliche Lage Zurückgehen der ebenen, nicht versteiften Wände wird das Winkeleisen unzählige Male in der Ecke geöffnet und geschlossen, bis es zuletzt anfängt zu reissen, und dann natürlich sehr schnelle Fortschritte macht.

Der Mantel an Verticalkesseln mit innerer Feuerkiste ist häufig dicht über dem Ringe, welcher den Mantel und die Feuerkiste unten verbindet, ganz bedenklich gefurcht, besonders wenn der Ring zu niedrig ausgeführt wurde, um der durch den Dampfdruck verursachten Wirkung, ihn umzukanten, zu widerstehen.

Ueberhaupt überall dort, wo flache oder wenig gekrümmte Flächen auftreten, hat man bei einer Untersuchung des Kessels sorgfältig die Verbindungsstellen zu besichtigen, weil hier der günstigste Sitz für Furchen ist. Die Verbindungsstelle der ebenen Stirnwände mit dem Kesselmantel, gleichviel ob durch äusseren oder inneren Winkeleisenring oder durch Umbördelung befestigt, ist eine gefährliche Stelle; hier ist es besonders der Dampfdruck, der auf die nicht hinreichend verankerte Platte wirkt und diese fortwährend auswärts und nach Reduction des Druckes einwärts bewegt und biegt. Die Wirkung hiervon zeigt sich in der Linie der Befestigung und seltener in der Stirnwand als vielmehr im Winkeleisenringe, wo sie besonders beim äusseren Ringe sehr schwer zu entdecken ist.

Dieses ist auch der Hauptgrund, warum so viele der alten flachbodigen und Heuschoberkessel zu Grunde gingen, und findet sich, wie gesagt, stets da, wo ebene Flächen ohne ausreichende Verankerung der Wirkung des Dampfdruckes ausgesetzt sind. Wir sehen also, dass sowohl zu grosse als auch zu geringe Steifigkeit schädlich sein können.

Die andere früher erwähnte Art des Furchens findet man gewöhnlich parallel und dicht neben der Blechkante in gewöhnlichen Ueberblattungsnietungen. Dieselbe ist meist viel breiter an der Oberfläche der Platte als die erstgenannte Art des Furchens, und hat oft das Aussehen als ob das Blech ausgehöhlt wäre. Die Hauptursache derselben ist die verrostende Wirkung des Wassers, jedoch gewöhnlich unterstützt durch häufiges Hin- und Herbiegen der Platte in der Stelle, wo die Furche gefunden wird.

Dieses Verwerfen und Verzerren der Platten wird durch die gegenseitige Einwirkung der Spannungen im Kesselumfang und in der Längsrichtung desselben auf die Nietnähte erzeugt und hat seinen Ursprung sowohl in den stets variirenden Dampfspannungen, als auch in der ungleichen Ausdehnung des Kessels. In den Längsnähten hat schon der innere Dampfdruck das Bestreben, den Kesselmantel in die genau cylindrische Form zu verwandeln, wodurch ebenfalls ein Verbiegen der Bleche dicht neben der Naht stattfindet.

In stationären Kesseln, die selten mit mehr als 5,7 bis 6 kg pro □ cm arbeiten, findet man inneres Furchen an den Längsnähten nicht häufig, es sei denn, dass der Mantel in seiner Form sehr bedeutend vom Cylinder abweiche; jedoch trifft man dasselbe zuweilen in den Längsnähten alter Kessel an, wo letztere in einer geraden Linie längs des ganzen Kessels angeordnet sind. In den Ringnähten langer Cornish- und Lancashire-Kessel tritt inneres Furchen sehr häufig auf, selten jedoch in ausgeprägtem und gefährlichem Maasse. Die Anwesenheit derselben lässt sich gewöhnlich auf ungleiche Ausdehnung zwischen dem oberen und unteren Theile des Mantels zurückführen, oder kann auch durch ungleiche Ausdehnung zwischen den Flammenrohren und dem Boden verursacht werden. Am auffallendsten findet man dieses Furchen in solchen Kesseln, in denen die Circulation schlecht ist, und tritt dieser Fall besonders dann auf, wenn das kalte Speisewasser nahe am Boden eintritt.

In Locomotivkesseln, die mit 10 und mehr Kilo pro Quadrat-

centimeter arbeiten und in denen die Bleche im Mantel im Verhältniss zum Durchmesser bedeutende Dicke haben, findet sich dieses innere Furchen häufig und im ausgedehnten Maasse. Es tritt in den Längsnähten, dicht neben der Ueberblattung, besonders unter der Wasserlinie auf, meist in der halben Kessellänge oder näher am Feuerkastenende; die Ringnähte leiden auf der ganzen Länge. Ein Hauptsitz ist jedoch an der Stelle innen am Blech, wo dasselbe aussen durch einen Winkeleisenring mit der Rauchkammerrohrwand verbunden ist. Am stärksten zeigt sich das Furchen am Boden, nimmt allmälig nach oben ab, bis es ungefähr in der Höhe der Mittellinie aufhört.

Aehnliches Furchen zeigt sich auch in den Platten des Locomotivkesselmantels, welche zu fest auf dem Rahmen mit Hilfe von Blechankern und Winkeleisen befestigt sind.

Die Stelle, an welcher man in solchen Fällen danach zu suchen hat, ist innen, der Befestigung des Winkeleisens gegenüber.

Da diese Art des Furchens stets nahe an einer Blechkante oder da auftritt, wo andere Theile fest mit dem Kesselmantel verbunden sind, und zwar in einer Linie, wo die Richtung der durch Dampfdruck oder ungleiche Ausdehnung verursachten Spannung sich häufig ändert, so liegt es nahe, anzunehmen, dass dies mechanische Hin- und Herbiegen der Bleche die Ursache sein muss. Zweifellos bricht durch das fortwährende Biegen die sich stets bildende Oxydschicht los und die Platte bietet den Angriffen des Wassers stets eine schwache leicht zerstörbare Fläche. Da nun jedoch besonders das Furchen in den Längsnähten meist nur unter der Wasserlinie und auch nicht mit jedem Wasser sich zeigt, so muss der chemischen Einwirkung der Hauptantheil am Zerstörungswerke beigemessen werden, trotzdem das mechanische Biegen zweifellos die Wirkung unterstützt.

Der schädliche Einfluss des Biegens in den Longitudinalnähten, der daraus entsteht, dass bei Anwendung der Ueberblattung die Gestalt des Kesselmantels stets etwas vom Kreise abweicht, und der Dampfdruck von innen das Bestreben hat, diese Form herzustellen, wird am besten umgangen, wenn man statt der Ueberblattungsnietung entweder die Ringe schweisst oder aber Kettennietung anwendet. Ein anderes Mittel, wenn man die Ueberblattung beibehalten will oder muss, um die Wirkung möglichst abzuschwächen, ist, dass man die Naht so hoch legt, dass sie der chemischen Wirkung des Wassers ent-

zogen ist, jedoch kann dies nur geschehen, wenn man die Ringe aus einer Platte herstellt. Durch beide dieser Anordnungen kann man dem Uebel des Furchens abhelfen. In einigen Fällen, wo geschweisste Nähte angewendet wurden, zeigten sich diese in kurzer Zeit stark durch Flecken und Narbenverrostung beschädigt, weshalb es sich empfiehlt, auch diese geschweissten Nähte über die Wasserlinie zu legen.

In den Ringnähten in Locomotivkesseln ist meist die zu solide Befestigung des Kessels mit dem Rahmen, wodurch der erstere an der freien Ausdehnung in der Längsrichtung gehindert wird, die Ursache des Furchens. Verstärkt wird dieser Einfluss noch, wenn die schlechte Manier angewendet wird, die Zugketten direct am Kessel zu befestigen. Eine andere Ursache ist die grössere Ausdehnung der Siederohre, wodurch die unteren Bleche besonders zu leiden haben.

Zweifellos wird inneres Furchen oft durch unvernünftiges Stemmen der Nähte verschlimmert; wenn dabei die äussere härtere Schale des Eisens beschädigt wird, so bietet das letztere dem Wasser eine leichter zerstörbare Fläche, und vermeiden viele Fabrikanten aus diesem Grunde das Stemmen der Bleche an der inneren Seite.

Aeussere Verrostung ist ein häufiger auftretender und gefährlicherer Feind stationärer Kessel, als irgend welche Art innerer Verrostung und Verzehrung. Die Ursache hierfür ist vielleicht die, dass man äussere Verrostung weniger vermuthet und derselben daher nicht so viel Aufmerksamkeit schenkt; die Hauptursache ist jedoch jedenfalls die, dass die meisten Theile eines stationären Kessels, und gerade die dem Verrosten am meisten ausgesetzten, nur zu oft völlig unzugänglich sind. Dass man dem Uebel in Folge dessen freies Spiel lässt bis der Schaden zu gross geworden ist, anstatt die Ursachen zeitig zu beseitigen, kann nicht Wunder nehmen. Dieses äussere Verrosten und Verzehren tritt ähnlich wie innen in grösseren und kleineren Flächen oder in Furchen auf.

Die häufigsten Ursachen äusserer Verrostung sind: Witterungseinflüsse, denen manche Kessel ausgesetzt sind, Lecken und Rinnen aus Nähten und Dichtungen oder Armaturentheilen, Grundwasser, das zuweilen in das Mauerwerk tritt, Wasser, das auf andere Art mit dem Mauerwerk in Berührung kommt, vom Abblasen, Auswaschen und dergleichen, oder auch durch angehäufte nasse Asche gegen die Kesselwandung.

Stellt sich oben am Kessel ein Leck ein, so kann unter

Umständen ein grosser Theil des Umfanges des Kessels darunter zu leiden haben. Ein geringer Leck von einer schlechten Dichtung oder Verschraubung führt häufig zu sehr gefährlichem Verrosten oder Furchen des Bleches unter dem Flantsch, weil ein Leck hier, besonders wenn die Stelle vom Mauerwerk oder einer anderen Kesselbekleidung verdeckt ist, längere Zeit unbemerkt sein zerstörendes Werk vollbringen kann. Einige der Kesselbekleidungsmaterialien werden sofort bei einem Leck weich und fallen ab, oder zeigen durch die Farbe den Leck an, nur solche sind zu empfehlen. Um Lecke an den Verschraubungen von Montirungsstücken zu vermeiden, dürfen diese nie mit einem Dichtungsmaterial direct an die gewölbte Kesselfläche geschraubt werden, sondern an diese ist stets ein Sitz zu nieten und die Nietung zu verstemmen, damit dann nur eine ebene Dichtung auf bearbeiteter Fläche zu machen ist. Am schwierigsten ist es gewöhnlich auf die alte Manier mit Schraubstiften und einem Dichtungskranze den Abblaseapparat dicht und ohne Leck am Kessel zu befestigen, besonders wo derselbe häufig und meist mittelst eines langen Hebels und bedeutender Kraftanstrengung geöffnet wird. In allen Fällen, wo man an dieser Stelle nicht einen Sitz an den Kessel nietet und den Abblasehahn an diesen schraubt, findet man das Blech zerfressen und die Verschraubung undicht.

Der grösste Theil äusserer Verrostung und Zerstörung von Kesseln wird durch unvernünftiges Einhüllen desselben in eine grosse Masse Mauerwerk verursacht. Der üble Einfluss desselben ist ein zweifacher; erstlich direct dadurch, dass das Mauerwerk alles Wasser, welches etwa seinen Weg in die Kesselnähe findet, länger dort hält, und zweitens indirect dadurch, dass es die Theile des Kessels, an denen in Folge obiger Betrachtung am leichtesten ein Verrosten eintreten wird, der Untersuchung völlig entzieht.

Das schreiendste Beispiel derartiger Anordnungen ist vielleicht die Methode, Kessel mit innerer Feuerung auf eine Breite von einem Ende des Kessels zum anderen reichende Mittelwand zu lagern. Alles Wasser, welches am Umfange des Kessels herunterläuft, sammelt sich natürlich hier an, im günstigsten Falle ist diese Mittelwand mit Kalk aufgeführt und das Resultat ist dann höchst rapides Verrosten der Platten, welches oft noch durch zerfressende Bestandtheile der Verbrennungsgase verstärkt wird. Man findet solche Mittelfedern bis zu 500 bis 600 mm breit, solche von 350 und 450 mm ge-

hören durchaus nicht zu den Seltenheiten und es ist, selbst wenn eine äussere Untersuchung durch Befahren der Züge möglich ist, in solchen Fällen absolut unmöglich, sich über den Zustand der Bleche, welche auf dieser Mittelwand lagern, sicher zu werden. Zuweilen erscheint das Blech an der äusseren Kante der Wand ganz unbeschädigt und das Mauerwerk trocken, durch die heissen Verbrennungsgase getrocknet, entfernt man aber einige Ziegel, so entdeckt man vielleicht, dass in einem Gürtel von 100 bis 200 mm Breite längs des ganzen Kesselbodens die Bleche fast durchgefressen sind.

Für Kessel von 1,2 m und darüber wende man Mittelwände niemals an, sondern setze dieselben auf zwei Seitenwände und erlaube 20 bis 25 mm Auflagefläche für je 300 mm Kesseldurchmesser. In sehr kleinen Kesseln, wo man Seitenwände und Centralzug nicht anwenden kann, mache man die Mittelwand oben, wo der Kessel aufliegt, nie mehr als 80 bis 100 mm breit, und lasse der leichteren Untersuchung halber hier und da einen Stein lose, besonders unter den Ringnähten. Am besten ist es, Mittelwände überhaupt zu vermeiden. Ist der Baugrund unter einem Kessel feucht, so tritt die Nässe sicher im Mauerwerk in die Höhe und greift die Bleche an, und es ist deshalb zu empfehlen, da wo die Nässe nicht zu umgehen ist, den Kessel auf gusseisernen Blöcken oder sehr schmalen Trägern auf der ganzen Länge zu unterstützen. Letztere brauchen 25 mm Breite da, wo sie am Kessel anliegen, nicht zu überschreiten.

Zuweilen sind die Frontwände sehr dick ausgeführt und schliessen den Abblaseapparat völlig ein, der dadurch dem Auge entzogen und leicht undicht wird. Da man in fast allen Fällen den Kessel auf den Längswänden trägt, braucht die Frontwand, wo sie mit dem Kessel in Berührung kommt, nicht über 110 mm breit zu sein, man schräge sie oben ab, wenn es nöthig ist dieselbe unten dicker auszuführen. Dieselbe sei stets hinter dem Abblasehahn angeordnet, so dass der letztere in einem offenen zugänglichen Platze sich befindet, wo er leicht gehandhabt und untersucht werden kann, und dem Beschädigen nicht ausgesetzt ist. Natürlich muss in allen Fällen der Abblaseapparat ein Rohr haben, durch welches das Wasser ohne rückwärts zu spritzen abgeführt wird, sonst verrosten die Bleche gerade hier sehr gefährlich. Hat man aufsteigende Feuchtigkeit zu fürchten, so thut man am besten, zwischen Frontwand und Kesselmantel einen eisernen Ring einzuschalten, der, wenn verrostet, leicht zu ersetzen ist.

Benutzt man innere Feuerung, die bei den oben besprochenen Manieren vorausgesetzt war, so lasse man das Vorderende des Kessels stets das Mauerwerk etwas überhängen, und zwar so viel, dass der hier gebräuchliche äussere Winkeleisenring frei übersteht. Auf diese Weise lässt sich jeder hier etwa stattfindende Leck sofort erkennen.

In den meisten Fällen wird das Vorderende eines Kessels noch über der Bodenlinie liegen, ist dies nicht der Fall, wie in sehr grossen Kesseln, so ordne man eine Vertiefung an, damit kein Theil des Kessels mit dem hier stets feuchten Fussboden in Berührung sei.

Bezüglich der Auflagefläche gilt von Seitenlagern dasselbe wie von den Mittelzungen. Dieselben werden zu häufig viel zu breit ausgeführt, während 80 bis 100 mm für Kessel von gewöhnlichen Dimensionen völlig ausreichend sind und man für sehr grosse Kessel etwa $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{15}$ des Durchmessers auf jeder Seite erlauben kann.

Damit sich nun auf diesen Seitenlagern am Kessel keine Feuchtigkeit ablagere, lasse man die Einmauerung niemals wie in Fig. 22, sondern stets wie in Fig. 23 ausführen. Die dunkel

Fig. 22.

schraffirten Theile in Fig. 23 stellen Chamotteblöcke dar, welche in Feuerthon oder Lehm gesetzt dem Kessel eine gute Auflage gewähren, und von welchen behufs einer Revision hier

und da leicht einer entfernt werden könnte, um den Zustand des Kessels auf dieser Stelle zu untersuchen. Solche Chamotteblöcke können meist fertig bezogen werden, die Dimensionen variiren von 200 mm Auflage auf dem Mauerwerk und derselben Höhe bis zu 300 mm und mehr. Die schmale Auflagefläche für den Kessel betrage nie mehr als 80 mm. Meist messen diese Blöcke von 100 bis 150 mm in der Längsrichtung, man braucht also von 6 bis 10 pro laufenden Meter. Wasser kommt nicht nur durch Lecken und Rinnen des Kessels, sondern auch als Verbrennungsproduct in die Züge, und die in Fig. 22 gezeichnete und häufig anzutreffende Anordnung lässt ihm keine andere Wahl, als sich langsam zwischen Kessel und Mauerwerk durchzuarbeiten und auf diese Weise den Kessel anzugreifen. Auch findet man diese Einmauerung häufig in Kalk ausgeführt, der besonders, wenn feucht, ein höchst gefährlicher Feind ist. Natürlich wird man stets Sorge tragen, dass der Kessel nirgends auf einer Längsnaht aufliegt. Ein anderer Umstand von nicht geringerer Wichtigkeit, der die Anordnung wie in Fig. 23 empfehlenswerth macht, ist die

Fig. 23.

Leichtigkeit der Reinigung und Besichtigung, während es bei einem nach Fig. 22 angeordneten Kessel absolut unmöglich ist, denselben äusserlich zu besichtigen. Häufig lässt man sich

durch anscheinend gute Erfolge mit diesen engen Zügen täuschen, viele Fabrikanten empfehlen dieselben, weil bei der ersten Probe ein sehr gutes Resultat bezüglich Kohlenverbrauch erzielt wird; sehr bald setzen sich jedoch die Kesselwände voll Russ und Schmutz, der nicht entfernt werden kann, und aus dem ursprünglich sehr ökonomischen sehr bald einen höchst verschwenderischen Kessel machen. Ausserdem hält auch eine Russschicht stets viel Wasser in sich und führt dadurch zur schnellen Verrostung des Kessels. Es sei nochmals hervorgehoben, dass sollte selbst durch Züge, die weit genug angeordnet sind, um einen Arbeiter zum Reinigen hindurchkriechen lassen zu können, auch wirklich ein Geringes an Brennmaterial verschwendet werden, so spart man dies bald an Reparaturen am Kessel und arbeitet mit ungleich höherer Sicherheit. Man mache den Zug an der engsten Stelle stets 100 mm weit und unten nicht unter 300 mm, da sonst das Befahren unmöglich wird.

Für Kessel mit Vorfeuerung beachte man dieselben Regeln, schräge das Mauerwerk überall, wo es mit den Kesselblechen in directe Berührung kommt, auf wenigstens 100 mm ab und führe dies in Chamotte aus.

Der Abblaseapparat sei stets direct vom Aschenfall zugänglich und nicht von Mauerwerk umgeben, lässt man, wie dies bei Flammenrohrkesseln meist der Fall ist, das Feuer durch die Rohre nach hinten, und dann je nach den Verhältnissen seitlich oder unten nach vorn ziehen, so ordne man vorn, wo die Seiten und Unterzüge in einander übergehen, einen Flugaschenfall an, der gross genug ist, um von hier aus mittelst einer vom Aschenfall unter dem Roste öffnenden Thür die Züge befahren und reinigen zu können. Das Befahren vom Schornsteinende hat oft, besonders wenn derselbe mehreren Kesseln gemeinsam angehört, grössere Schwierigkeiten, und ausserdem kann man die Züge durch eine vorn direct in dieselben öffnende Thür leichter abkühlen.

Es würde zu weit führen, hier alle etwa vorkommenden Fälle einzeln besprechen zu wollen, man achte stets bei Anordnung von Kesseleinmauerungen darauf, so wenig wie möglich Mauerwerk in directe Berührung mit der Kesselwand zu bringen, und setze das in directer Berührung befindliche stets in Thon oder Lehm, nie aber in Kalk. Wo es in verticalen Kesseln nöthig wird, das Innere, um es vor Ueberhitzung zu schützen, theilweise zu bekleiden, thut man gut, einen engen

Zwischenraum zu lassen, damit etwa auftretendes Wasser von Lecken oder anderen Ursachen ablaufen kann. Hierher gehören auch die in Flammenrohrkesseln mit innerer Feuerung üblichen Feuerbrücken, die man am besten auf einem Gussstück, unten mit einer Reinigungsthür für den hinteren Theil des Flammenrohres versehen, aufführt.

Das Rinnen und Lecken von Nietnähten in verschiedenen Theilen eines Kessels wird oft durch schlechte Arbeit verursacht. Lässt sich dies durch Stemmen und Einziehen eines neuen Nietes nicht heilen, so entferne man den Niet vorsichtig, reibe das Nietloch mit einer Reibale rund auf und setze einen stärkeren Niet ein. Gleichzeitig ist es oft nöthig, die Kanten des Bleches zu putzen und neu zu verstemmen. Die zu breite Ueberlappung in den Nähten, besonders den im Feuer liegenden, verursacht häufig Schwierigkeit beim Dichten. Neue Kessel, die sich bei der hydraulischen Druckprobe völlig dicht ergeben haben, zeigen oft beim Anfeuern Lecke, welches entweder durch rohe Behandlung beim Transport, oder auch durch die im Betriebe verschiedene Ausdehnung erzeugt sein kann. Verschiedene Arten Wasser machen oft einen wesentlichen Einfluss auf das Lecken von Kesseln. Kessel, die bisher völlig dicht waren, zeigen plötzlich bei Anwendung von Wasser aus einer anderen Quelle Lecke in den Nietnähten. Wenn dies der Fall ist, wird sich gewöhnlich ergeben, dass man stark salzhaltiges Wasser durch reineres ersetzt hat. In Folge der Niederschläge aus mineralhaltigem Wasser erhitzen sich die Bleche mehr und halten in Folge der grösseren Expansion besser dicht. Eine andere Ursache des Leckens in Kesseln dicht am Rost ist häufig die zu schnelle Erzeugung von Dampf; in diesem Falle ist es die ungleiche Ausdehnung des Materials in Folge der plötzlichen Erhitzung eines Theils und der verhältnissmässigen Kälte der übrigen. Lecken als Folge dieser Ursache zeigt sich am häufigsten in Kesseln mit schlechter Circulation.

Dass die unrichtige Anordnung des Speiserohrs sehr häufig, besonders bei kaltem Speisewasser, das Lecken eines Kessels verursacht, ist schon früher erwähnt worden. Es wird häufig behauptet, dass wenn das Speisewasser durch ein Rohr in den Kessel eintritt, dessen Mündung circa 300 mm von den Blechen entfernt ist, so kann ein schädlicher Einfluss daraus, selbst bei kaltem Wasser nicht erwachsen. Dass dies wesentlich von der Kraft abhängt, mit der das Wasser eintritt, ist wohl ein-

leuchtend; hat man z. B. eine grosse Pumpe, die für die Speisung von vielleicht sechs Kesseln ausreichend ist, und nur ein Speisehahn sei zur Zeit offen, so ist wohl mit Sicherheit anzunehmen, dass das Wasser mit grosser Gewalt austreten wird, und die erhitzten Bleche trifft, ehe es Zeit gehabt hat, viel Wärme aufzunehmen. Uebrigens spricht die Erfahrung am sichersten dafür, dass diese Methode schädlich ist und bedarf es keiner weiteren Beweise.

Eine der häufigsten Ursachen für das Lecken eines Kessels auf der ganzen unteren Seite desselben ist die rücksichtslose Methode, einen Kessel noch warm abzublasen und dann sofort zur Abkühlung kaltes Wasser in denselben zu pumpen, wobei häufig noch die Thüren und Schieber geöffnet werden, um einen kalten Zug zu erzeugen. Die hierdurch verursachte plötzliche Abkühlung kann als der Grund der Zerstörung vieler Kessel angesehen werden. Es kommt sogar vor, dass in solchen Fällen Risse im Kessel entstehen, wenn die Blechkanten oder angenietete Träger sich gegen das Mauerwerk setzen und der schnellen Contraction nicht folgen können.

Röhrenkessel mit innerer Feuerung und ohne äussere Züge, die meist eine grosse Anzahl enger Heizröhren enthalten, leiden stets durch Furchen und Verrosten längs der unteren Seite, vorzüglich in den Ringnähten. Die Ursache hierfür liegt im Lecken, welches fast stets in Folge der ungleichen Ausdehnung zwischen dem oberen und unteren Kesseltheile und zwischen Mantel und Rohren stattfindet. Vergrössert wird dies durch fehlerhafte Circulation, ist jedoch eine natürliche Folge der grösseren Erwärmung der inneren Rohre im Vergleich mit dem Kesselmantel. Die beste und vielleicht einzige Methode, dies zu umgehen, ist die, die Gase auch äusserlich um den Kessel streichen zu lassen, ehe sie in den Schornstein eintreten, und die Stirnwände so zu versteifen, dass ein gewisser Grad von Elasticität in denselben möglich ist.

Kessel nach Art der Locomotivkessel gebaut, haben niemals äussere Züge, und trotzdem ist dieser Fehler durchaus nicht häufig bei denselben anzutreffen. Hierzu trägt ohne Zweifel die gute Circulation in denselben das Meiste bei, durch Anwendung eines Feuerkastens kann man die Heizrohre dichter an den Boden des Mantels legen, und ausserdem wird das Wasser im niedrigsten Punkte, in dem Feuerkasten selbst, am meisten erhitzt. Tritt deshalb in den Ringnähten von Locomotivkesseln trotzdem Lecken auf, so wird es meist dadurch

verursacht, dass die Kesselenden fest mit dem Rahmen verbunden sind, eine Methode, die trotz der grossen damit verbundenen Uebel doch noch zuweilen angetroffen wird.

In Flammenrohrkesseln führt die ungleiche Ausdehnung der Flammenrohre und des Kesselbodens im Vergleich zum oberen Kesseltheile häufig zu Rissen in den Ringnähten, wodurch dieselben natürlich an zu rinnen fangen und dann das Furchen an der Aussenseite der Bleche begünstigen. Die Rapidität, mit der die Zerstörung eines Kessels unter solchen Umständen zuweilen vor sich geht, kann nur durch die Mitwirkung starker Säuren erklärt werden, und es unterliegt keinem Zweifel, dass die schweflige Säure und andere als Verbrennungsproducte auftretende hieran einen grossen Antheil haben. Wasser ist im Stande, das 30fache seines Volumens an schwefliger Säure zu absorbiren; bildet sich diese nun aus Schwefelmetall enthaltenden Kohlen in grossem Maasse, so erklärt sich die schnelle Zerstörung, bei einem gleichzeitigen Leck in der Nietnaht, aufs Einfachste. Verbessern lassen sich diese Zustände, entweder veranlasst durch Speisen mit kaltem Wasser nahe am Boden, oder in Doppelflammenrohrkesseln durch zu sehr verengten Wasserraum an den Seiten und in der Mitte, durch verbesserte Circulation. Man erhitze in solchen Fällen das Speisewasser, lasse es nahe der Wasserlinie eintreten und helfe der Circulation durch Anwendung von verticalen Circulationsrohren im Flammenrohre, wenn die seitlichen Wasserräume zu enge sind.

Die unnöthige Verankerung von Flammenrohren gegen die Stirnwände, zu fest aufgezogene Verstärkungsringe, im Feuer lagernde doppelte Blechstärken in den Nähten, und ähnliche, schon an anderer Stelle erwähnte Anordnungen, geben Veranlassung zu Lecken und Furchen oder gar Rissen, und sind deshalb zu vermeiden.

In Röhrenkesseln leiden die Rohrwände häufig durch Lecken der Rohre; die Ursache hierfür kann eine verschiedenartige sein. Sind die Rohrwände zu steif, um der Expansion der Rohre nachgeben zu können, so müssen letztere nothwendiger Weise in den Rohrwänden lose werden und zu lecken anfangen. Zuweilen trägt auch die bedeutende Belastung von den zur Verstärkung der Feuerbüchsdecke auf der Rohrwand lagernden Trägern zur Verzerrung der Rohrlöcher bei, und sollte man deshalb bei grossen Feuerkasten besonders diese Träger durch Zugglieder mit der äusseren Decke verbinden,

damit die letztere einen Theil der Last aufnimmt. Setzt man diese Zugglieder etwas schräg, so kann man dadurch zu grosse Steifigkeit vermeiden.

Oft lecken die Rohre auch in Folge zu schnellen, scharfen Feuerns, und durch Abblasen, während der Kessel noch warm ist.

In Locomotivkesseln sind häufig die unteren Feuerkastenecken sehr schwer dicht zu erhalten und zeigen bald nach dem Gebrauch gefährliches Lecken. Sind die Ecken nicht nach einem grossem Radius gebogen, so lassen sich sehr schwer Nieten so einsetzen, dass sie aussen dicht genug stehen, und in Folge dessen beginnt das Lecken zwischen dem Ringe und der äusseren Platte. Selbst doppelte Nietung überwindet dieses Uebel nicht ganz. Die beste Anordnung ist die, dem Ringe an jeder Ecke unten einen Ansatz von 30 bis 35 mm Stärke und solcher Höhe zu geben, dass man die äussere Platte an denselben annieten kann. Natürlich zieht sich dieser Ansatz um die ganze Ecke herum, und setzt man nun die Nieten im dicken Theile des Ringes so, dass sie innen die richtige Theilung haben, und bringt dazwischen im unteren dünneren Theile des Ringes besondere Nieten für die äussere Platte an, die also doppelt genietet ist. Diese Methode ist dann allerdings etwas kostspieliger, weil der Ring besonders geschmiedet und die Blechplatte an der Ecke etwa 35 mm länger wird, jedoch sichert man sich eine sehr solide Nietung.

Lecke, die durch schlecht construirte und schlecht angebrachte Armaturenstücke entstehen und Verrostung hervorrufen, sind bei den betreffenden Armaturentheilen, siebentes Capitel, ausführlicher besprochen worden.

Die verschiedenen Risse und Sprünge, welche bei Kesselblechen auftreten, können in zwei Classen getheilt werden: 1. solche, die durch zu geringe Freiheit der Bleche, sich dehnen und zusammenziehen zu können, in Folge der ungleichen Ausdehnungen verschiedener Theile des Kessels und durch zu schnelle Temperaturwechsel verursacht sind; 2. solche, die durch wirkliche Schwäche in der Construction und die Unfähigkeit des Materials die Dampfspannung zu ertragen veranlasst sind; letztere mögen durch schlechte Arbeit oder Construction, durch schlechtes oder mit der Zeit schadhaft gewordenes Material, verursacht sein. Auch können fehlerhaftes Ausbessern, Verrostung, Ueberhitzung und Ermattung des Materials durch unzählige Druckänderungen und verschiedene

Spannungen, denen es während langjährigen Betriebes ausgesetzt war, die Ursache hiervon sein.

Vielleicht giebt es keinen Platz am Kessel, wo Risse so häufig vorkommen, wie in den Ueberblattungsnähten über dem Feuer in Kesseln mit Unterfeuerung. Der gefährlichste Platz ist zwischen dem Ende des Kessels und der Feuerbrücke in den Ringnietnähten. Dieselben kommen jedoch auch oft in den Längsnähten vor, und in Kesseln mit halbrunden Böden in den radialen Nähten, wenn letztere der directen Einwirkung des Feuers ausgesetzt sind. Gewöhnlich beginnt der Riss in einem Nietloche und geht in der äusseren Ueberblattung bis an die Blechkante, wo dieselben vielleicht im Anfang nicht wirklich gefährlich sind, jedoch durch das stets eintretende Lecken sehr unangenehm werden, und Kosten und Zeitverschwendung durch ihre Reparatur verursachen. Im Anfange sind dieselben gewöhnlich kaum sichtbar, erregen aber bald durch Lecken die Aufmerksamkeit und sollten dann sofort reparirt werden. Vernachlässigt man dies, so setzt sich der Riss zuweilen nach rückwärts in die Platte hinein fort, wo er sehr gefährlich werden kann, wenn man ihm nicht bei Zeiten Einhalt thut, welches zuweilen durch einen in den Weg des Risses gesetzten Niet geschehen kann. Laufen die Risse in der Richtung der Nietreihe von Loch zu Loch, so sind sie gefährlich und müssen, wenn nicht sofort zur Reparatur geschritten werden kann, aufs Sorgfältigste überwacht werden. Gute Bleche lecken gewöhnlich längere Zeit, während spröde schlechtere Bleche ganz plötzlich ohne Warnung zerspringen. Die Wahrscheinlichkeit von Rissen ist in dicken Kesselblechen grösser als in dünnen.

Risse sehr ähnlicher Natur finden sich in Ueberblattungsnähten von Flammenrohren, wo innere Feuerung stattfindet, und ist auch bei T-Eisenringverbindungen der Flammenrohrlängen nicht selten. Es wird gewöhnlich angenommen, dass diese meist vom Nietloche bis an die Blechkante reichenden Risse durch Ueberhitzung der hier doppelten Blechstärke verursacht wurden; bedenkt man jedoch, dass dieses Ueberhitzen eine Ausdehnung des Materials, und folglich Compression in diesem Theile zur Folge haben würde, so wird man einsehen, dass die Ueberhitzung nur eine indirecte Ursache sein kann. Es sind vielmehr die kalten Luftströmungen, die beim jedesmaligen Feuern gegen die erhitzte Blechkante stossen und den

Riss durch plötzliche Contraction im Umfang und der Längsrichtung verursachen.

Betrachten wir diesen Umstand etwas näher. Es ist klar, dass die Wirkung der Hitze auf die doppelte Materialdicke eine grössere Ausdehnung in der Naht hervorbringen wird. Fassen wir nun die doppelte Blechstärke in der Nietnaht als einen Bogen auf, der entweder, je nach seiner Lage, ob Kesselmantel oder Flammenrohr, dem Feuer die convexe oder concave Seite zukehrt, so wird die grössere Ausdehnung eine Erhöhung dieses Bogens hervorrufen, und zwar nach oben oder unten, je nach der Lage. Die Form des so einseitig ausgedehnten Cylinders wird allerdings vom Druck im Kessel beeinflusst werden. Trifft nun plötzlich ein kalter Luftstrahl gegen diese im ausgedehnten Zustande befindliche Nietnaht, so wird die schnelle Erniedrigung der Temperatur eine grosse Spannung auf die äussere der beiden Blechstärken ausüben. Dieser Spannung mit dem Bestreben, sich zu verkürzen, widersetzt sich die innere, nicht so schnell abgekühlte Platte, und übersteigt diese Inanspruchnahme die Elasticität des Materials, so muss unabwendbarer Weise ein Bruch erfolgen. Tritt eine solche Inanspruchnahme oft ein, so wird mit der Zeit auch das beste Eisen spröde, und der Riss vom Nietloch nach der Blechkante ist die natürliche Folge. Risse in der Richtung der Nietlöcher von Loch zu Loch sind durch ähnliche Longitudinalspannungen verursacht, und bei den direct über dem Feuer liegenden Nietnähten kommen in derselben Weise begründete Risse beider Arten vor.

Man trifft häufig Kantenrisse in Platten vor, die sich wegen ihrer anscheinend geschützten Lage durch die soeben beschriebene abkühlende Wirkung kalter Luftströmungen nicht sofort erklären lassen. Hierher gehören dicht über den Roststäben liegende Longitudinalnähte in Flammenrohren mit innerer Feuerung. Da die Risse hier im Feuer selbst liegen, können sie durch kalte, in die Feuerthür eintretende Luftströmungen nicht verursacht sein, da sie jedoch so dicht über den Roststäben liegen, so können sie beim Schüren des Feuers plötzlich von Kohlen entblösst und durch kalte Luft von unten abgekühlt werden, eine Operation, die bei manchen Kohlensorten, die viel Schlacken bilden, sehr häufig nöthig ist. Es könnten noch manche andere Fälle aufgeführt werden, die hierauf passen, jedoch lässt sich in den meisten die richtige Erklärung unschwer finden; zuweilen sind es Kesseltheile, die durch

Chamotte überkleidet, beim plötzlichen Abspringen desselben Risse bekommen. Man hat dergleichen Risse auch dadurch zu erklären versucht, dass an manchen Stellen, wo die Einwirkung des Feuers so intensiv ist, die Bleche zeitweise vom Wasser entblösst und folglich überhitzt werden, und dann beim Zurücktreten des Wassers die Bleche plötzlich abkühlen. Dass hierdurch Risse entstehen können, ist schon richtig, jedoch würden dieselben innen und nicht aussen stattfinden.

Die Neigung von im Feuer liegenden Blechen, mit der Zeit Risse zu bekommen, wird dadurch vermehrt, dass dieselben durch häufiges Erhitzen und Abkühlen sich allmälig verkürzen.

Als einziges Mittel gegen dergleichen Kantenrisse muss man gleichzeitig die Ueberhitzung der Bleche und die Einströmung kalter Luft vermeiden, und geschieht dies am effectvollsten durch einen dünnen Chamottering, jedoch muss darauf geachtet werden, dass sich unter demselben keine Feuchtigkeit ablagern kann.

Bei Kesseln mit äusserer Feuerung ist die Neigung, Risse in den Nietnähten zu bekommen, um so grösser, je näher das Feuer dem Kesselmantel ist. Legt man in solchen Fällen die Roststäbe etwas tiefer, so reducirt man dadurch die Intensität und das Feuer hat mehr Gelegenheit, sich tüchtig mit der Luft zu vermischen.

Mehrfache Versuche sind gemacht worden, das Einströmen kalter Luft durch die Feuerthür beim Schüren zu vermeiden, indem man die Thür so mit dem Schieber verbindet, dass beim Oeffnen der ersteren sich letzterer schliesst. Diese Anordnung stört jedoch die günstige Verbrennung und verursacht dadurch starkes Rauchen.

Man hat auch versucht, durch geneigte Bogen innerhalb der Feuerthür die Richtung der Luftströmung auf den Rost zu lenken, damit sie dem Kessel nicht gefährlich werden kann. Diese Anordnungen wirken sehr günstig, jedoch verbrennen dieselben sehr bald, und müssen oft ausgebessert werden, weshalb man sie selten lange in Gebrauch behält.

Der beste und einfachste Plan ist der, Ueberblattungen direct über dem Feuer überhaupt zu vermeiden, weil dadurch das Uebel in der Wurzel angegriffen und also gefährliche Ueberhitzung und Contraction vermieden wird. Erreichen kann man dies durch Anwendung einer langen Blechplatte, so dass die erste Ringnaht hinter die Brücke zu liegen kommt. Ehe die kalte Luft

hierher gelangt, ist dieselbe meist hinreichend erhitzt und der schädliche Einfluss deshalb vermieden. Um dies vollkommen zu erreichen, muss man diese Platte so breit herstellen, dass die Längsnähte ausserhalb des Feuers und dem Bereich der kalten Luft zu liegen kommen. Der gegen diese Anordnung erhobene Einwurf ist besonders durch den grösseren Preis einer Platte von solchen Dimensionen und die lange Längsnaht, welche stets Veranlassung zur Schwäche giebt, begründet. Die Längsnaht kann theilweise durch doppelte Nietung verstärkt werden.

Um in Flammenrohrkesseln mit innerer Feuerung das Reissen in den Nietnähten zu vermeiden, führe man dieselben mit möglichst wenigen Nähten aus und benutze für die Ringnähte, besonders über dem Feuer, Adamson's Ring. Die Längsnähte lege man stets unter den Rost.

In Kesseln mit äusserer Feuerung treten häufig ungefähr in der halben Länge Risse von der allergefährlichsten Art auf, die oft als die Ursachen von Explosionen anzusehen sind, und doch kann an dieser Stelle die kalte Luft keine Wirkung haben. Diese Risse laufen gewöhnlich längs der Nietreihe an der inneren Platte und sind durch die plötzliche Abkühlung und Contraction verursacht, durch kaltes auf diese Stelle einströmendes Speisewasser, oder durch kaltes Wasser oder kalte Luft, die in den Kessel eintreten, kurz nachdem derselbe im warmen Zustande entleert wurde. Die Quantität von Mauerwerk, in welches derartige Kessel oft eingehüllt sind, und die unnöthig grosse Anzahl und steife Befestigung von Trägern und dergleichen, vergrössern noch wesentlich die Schwierigkeit der gleichmässigen Contraction bei der Abkühlung, und in manchen Fällen mag selbst ein Strom kalter Luft, nachdem der Kessel entleert und das Feuer vom Roste gezogen ist, einen gefährlichen Riss verursachen. In sehr langen Kesseln würde die bedeutende Erhitzung am Boden, bei Unterfeuerung, diesen so bedeutend verlängern, dass sich die Enden 10 mm und mehr heben würden, wenn das grosse Gewicht des im Kessel enthaltenen Wassers sie nicht daran hinderte. Trotz alledem kann die Wirkung dieser Expansion des unteren Theiles den Einfluss haben, das Gesammtgewicht des Kessels und Wassers auf die Unterstützungen in und nahe der Mitte zu werfen.

Mit der Zeit verkürzen sich nun, wie bereits mehrmals erwähnt, Eisenplatten durch häufiges Erhitzen und Abkühlen auf die Dauer, und wenn der Kessel nun kalt wird, so liegt derselbe in der Mitte hohl und an den Enden auf. Dass diese

Wechselwirkung Risse sehr gefährlicher Natur herbeiführt, kann nicht Wunder nehmen.

Alle vorhin erwähnten Wirkungen, die auf Ueberhitzung der Bleche basirt sind, werden natürlich verstärkt, wenn sich im Innern auf den Blechen eine dicke Schicht Kesselstein abgelagert hat, also wenn das Wasser Kalksalze enthält oder gleichzeitig mit fettigen Substanzen kohlensaurer Kalk im Speisewasser enthalten ist.

Ein häufig auftretendes Beispiel von Rissen durch ungleiche Ausdehnung findet man in langen verticalen Schornsteinkesseln, wie sie in Verbindung mit grossen Schmieden und Hohofen Verwendung finden. Es sind dies den Cornish-Kesseln ähnliche, jedoch auf das eine Ende gestellte Kessel, in denen ebenfalls das Rohr ausser der Mittellinie des Mantels liegt, um inwendig mehr Platz zum Reinigen zu haben, meist ist auf der einen Seite nicht mehr als 150 mm zwischen Rohr und Mantel. In manchen Fällen übertrifft die Ausdehnung des inneren Rohres die des Mantels um 10 mm und mehr, wodurch natürlich eine sehr bedeutende Spannung auf die ebenen Enden und deren Verbindung mit dem Mantel, die durch Umbördelung oder Winkeleisenringe hergestellt sein kann, ausgeübt wird. In Folge hiervon findet man nun häufig schon nach einer kurzen Betriebszeit die Bleche in der Nietlinie oder die Winkeleisen im Winkel gerissen. Wäre die untere Seite der Flammenrohre vieler Cornish-Kessel ebenso stark erhitzt wie die obere, so würde es in vielen Fällen unmöglich sein, dieselben, wenn steif verankert, mit nur einiger Sicherheit im Betriebe zu erhalten, und man würde ungemein viel Verdruss mit denselben haben.

In kleinen verticalen Kesseln, wenn die Rohre zu dicht gesetzt sind und die obere Rohrwand noch womöglich durch Wölbung versteift ist, wird die Verbindung zu steif und kann der Ausdehnung der Rohre nicht nachgeben, die Folge hiervon sind Risse in der Nietreihe der Rohrwand, die zu gefährlichen Unfällen Anlass geben können.

Viele Explosionen, besonders von Kesseln mit Unterfeuerung, kommen kurz nach Reparaturen des Kessels vor, und es zeigt sich, dass die Längs- oder Ringnähte in der Linie der Nieten häufig dort, wo neue Bleche an alte angenietet sind, oder wo Bleche durch aufgesetzte Flecke ausgebessert wurden, zerrissen sind.

Höchst unwahrscheinliche Ursachen hat man derartigen

Unfällen oft als Ursache untergeschoben; jedoch liegt die wahre Lösung des Geheimnisses darin, dass die alten Bleche durch das Abhauen der Nietköpfe und Heraustreiben der Nietschafte häufig sehr gefährliche Risse bekommen. Hierauf kommt die neue Platte, die Löcher passen nur in den seltensten Fällen vollkommen, und die beliebte jedoch rücksichtslose Manier der Anwendung des Dornes vollendet, was beim Heraustreiben der Niete noch unzerstört geblieben war. Die Naht ist nun bedeutend schwächer, als es der für den Kessel festgesetzte Druck verlangt, und beim ersten Anheizen schon kommt es zum Unfall. Vereinigt sich mit derartigen unvorsichtigen Arbeiten noch sprödes Material, so erhöht sich natürlich die Gefahr ganz bedeutend. Man sollte deshalb für Kesselreparaturen nur die wirklich geschicktesten Arbeiter verwenden, und ausgebesserte Theile auf das Allervorsichtigste untersuchen, um solchen Unfällen vorzubeugen.

So lange jedoch Kessel noch immer für einen Preis verkauft und gekauft werden, der kaum die Kosten des Materials von guter Qualität decken würde, so ist es natürlich undenkbar zuverlässige Arbeit zu erhalten.

Das Ueberhitzen von Blechen kann in kleinen Stellen vorkommen oder sich über verhältnissmässig grosse Flächen ausdehnen. Beispiele von Rissen und Brüchen in Folge von Ueberhitzung kommen am häufigsten in Kesseln mit Unterfeuerung vor. Die zur Ueberhitzung direct oder indirect führenden Ursachen sind näher im Capitel über „Kesselexplosionen“ behandelt.

Tritt ein bedeutendes Ueberhitzen eines Theiles einer Platte ein, so wird dieselbe an dieser Stelle weich und wölbt sich nach aussen, und sind derartige Beulen stets mit Argwohn zu betrachten, da dieselben zu einer oder der anderen Zeit anscheinend ohne besondere Ursache durch inneren Druck oder plötzliche Abkühlung und Contraction Risse bekommen können.

Wenn Risse in einer derartig überhitzten Platte vorkommen, und das Wasser sich wirklich davon entfernt hat, so können dieselben entweder durch den inneren Druck, der hinreichend war, die absolute Festigkeit des erhitzten und geschwächten Materials zu überwinden, oder dadurch, dass das Wasser wieder mit den Platten in Berührung kommt, entstanden sein.

Eine Wirkung der Ueberhitzung, die man nur selten antrifft, ist die Erschlaffung und theilweises Reissen der äusseren

Seite dicker Platten, wenn solche sehr intensiver Hitze ausgesetzt sind, besonders wenn eine starke Flamme concentrirt und nur auf einen kleinen Theil der Platte wirksam ist. In solchen Fällen ist die äussere Seite der Platte weit bedeutenderen Variationen in Temperatur ausgesetzt als die innere, und wird schneller verzehrt. Es ist übrigens anzunehmen, dass unter den sich entwickelnden Verbrennungsgasen bei manchen Kohlen solche sein mögen, die zur Zerstörung der Aussenseite der erhitzten Platten beitragen.

Ist eine Platte, die dem Feuer ausgesetzt ist, schieferig oder blätterig, so ist dieselbe dem Ueberhitzen an der äusseren Seite weit mehr ausgesetzt, weil der Mangel an Homogenität der Mittheilung der Wärme entgegenwirkt. Beim Ueberhitzen wölbt sich der äussere Theil und bildet eine förmliche Blase, welche, wenn von gleicher Dicke, gewöhnlich nach einiger Zeit in der Mitte zerplatzt, oder wenn von ungleicher Stärke in der dünnsten Stelle früher oder später zerspringt.

Risse durch Ueberhitzung kommen sehr häufig in den ebenen Platten zwischen den Stehbolzen in Locomotivkesseln vor, wo sie durch die Erweichung des Eisens beim Erhitzen und den inneren Druck meist nach vorhergehender Ausbeulung entstehen.

Noch ein Umstand finde hier Erwähnung, der häufig zu Rissen Veranlassung gegeben hat; es ist dies die Einführung kalter Luft hinter der Feuerbrücke zur besseren Rauchverzehrung. Die kalte Luftströmung führt hier zu sehr gefährlichen Rissen, besonders wenn grosse Quantitäten durch plötzliches Oeffnen des Lufteinlasses auf die erhitzten Bleche strömen.

Zehntes Capitel.

Sicherheitscoëfficient.

Wenn wir versuchen, den Sicherheitscoëfficienten festzustellen, mit welchem ein Kessel geprüft und betrieben werden darf, oder in anderen Worten, wenn wir das Verhältniss feststellen wollen, in welchem der Betriebsdruck zur Bruchbelastung steht, wobei stets für die, durch den Gebrauch bedingte Abnutzung zu erlauben ist, so müssen wir uns zuerst über die Art und Weise der Beanspruchung des Materials in verschiedenen Kesseltheilen klar werden, und dann die Festigkeit des Materials in Rücksicht ziehen, welche wir bei gewöhnlichem Betriebe von demselben zu erwarten haben. Für einfache cylindrische Kessel nimmt man gewöhnlich an, dass wenn man den Druck pro Flächeneinheit und den Durchmesser des Kessels auf der einen Seite und die Bruchbelastung der Platten oder besser der Nietnähte auf der anderen in Rücksicht zieht, so hat man allen Ansprüchen Genüge gethan, und braucht nur einen Sicherheitscoëfficienten von 3 bis 6 für den hydraulischen Druck und den wirklichen Betriebsdruck zu wählen. Dem ist jedoch nicht so, wenigstens treten noch andere Umstände auf, die beachtet werden müssen. Erstlich ist der Dampfdruck nicht immer die grösste Kraft, welcher der Kessel zu widerstehen hat, und ferner nehmen die durch ungleiche Contraction und Expansion im Bleche entstehenden Spannungen mit der Stärke desselben zu, so dass im ungünstigsten Falle eine grössere Blechstärke eher zur Schwächung als zur Stärkung des Kessels beitragen mag. Der Einfluss dieser Spannungen sollte deshalb bei Berechnung der Stärke eines Kessels Berücksichtigung finden. Ferner kann die Methode der Bestimmung des Sicherheitscoëfficienten nur dann als befriedigend

angesehen werden, wenn dieselbe die etwaige Beeinflussung der Stärke, Elasticität und Geschmeidigkeit des Materials unter allen Verhältnissen des Betriebes und des Prüfens in Rechnung zieht. Es ist ferner nöthig zu wissen, welche Spannungen das Material ertragen kann, ohne solche Aenderungen in Form, oder Elongationen der Structurtheile zu verursachen, welche der Haltbarkeit und Stabilität derselben nachtheilig sein könnten, und auch darüber Klarheit zu haben, wie die Eigenschaften der Materialien sich verhalten, nachdem dieselben längere Zeit den erschöpfenden Einflüssen ausgesetzt waren, wie sie bei einem im Betriebe befindlichen Kessel auftreten. Wird ein Stab guten Schmiedeeisens von gleichförmigem Querschnitte einer gleichmässigen Zugbelastung ausgesetzt, so dehnt sich derselbe innerhalb gewisser Grenzen proportional der Länge und Belastung, und zwar für 1 Kg pro Quadratmillimeter Querschnitt etwa um $^1/_{20000}$ seiner Länge aus. Ein vollkommen elastisches Material würde nun nach Beseitigung dieser Belastung seine frühere Länge wieder einnehmen, und innerhalb der Elasticitätsgrenze scheint dies beim Eisen der Fall zu sein, anzunehmen ist jedoch, dass selbst eine sehr geringe Belastung, wenn lange Zeit wirksam, eine bleibende Verlängerung im Eisen hervorbringt, jedoch sind unsere Instrumente nicht fein genug, dieselbe zu messen, und bei Belastungen unter 5 bis 6 Kilo pro Quadratmillimeter dürfen wir das Eisen als absolut elastisch betrachten, und selbst gelegentliche Belastungen von 14 bis 16 Kilo, also nahe halb die Bruchbelastung auf Zug, erzeugen so geringe permanente Verlängerung des Materials, dass sie in einem Kesselmantel kaum fühlbar sind. Bei den geringeren Belastungen macht sich die constante Verlängerung selbst durch andauernde oder oft wiederholte Belastung kaum bemerkbar, und man darf das Eisen in Folge dessen in diesen Grenzen als vollkommen elastisch ansehen. Vergrössert man jedoch die Last über diese Grenze hinaus, so wird man bemerken, dass bei wiederholter Belastung, besonders wenn von längerer Dauer, die permanente Verlängerung zunimmt, und hat man in diesem Falle die Elasticitätsgrenze überschritten.

Als Definition der Elasticitätsgrenze kann also angegeben werden, die grösste Belastung, die ein Material zu ertragen im Stande ist, ohne eine bleibende Veränderung dadurch zu erleiden. Die Grösse einer solchen Belastung, welche die Elasticitätsgrenze überschreitet, macht das Eisen für die meisten Structuren untauglich, und in einem Dampfkessel würde die

Dichtheit der Nietnähte schon zerstört sein, längst ehe diese Grenze erreicht ist. Es wird aus dieser Betrachtung klar geworden sein, dass bei der Festigkeitsberechnung eiserner Construction nicht die Bruchbelastung, sondern die Belastung an der Elasticitätsgrenze in Rücksicht zu ziehen ist, und besonders hat man dies dann zu beobachten, wenn man die Inanspruchnahme, der ein Kessel ausgesetzt werden darf, zu berechnen hat. Für Stahl, wie er zu Kesselblechen Verwendung findet, ist die Elasticitätsgrenze ungefähr 22 Kilo.

Belasten wir unseren Stab so lange, bis er endlich zerreisst, und unterziehen darauf eins der Stücke derselben Probe, so werden wir finden, dass dasselbe eine ebenso grosse oder selbst grössere Belastung zu ertragen im Stande ist, als der Stab vorher, ein Beweis, dass die absolute Festigkeit des Materials durch die Belastung bis dicht an die Bruchbelastung nicht abgenommen, sondern anscheinend eher zugenommen hat. Fährt man aber auch jetzt mit Vergrösserung der Last bis zum Bruche fort, so wird man finden, dass die Structur des Eisens sich durch die Belastung geändert hat. Dehnte sich bei der ersten Probe der Stab vor dem Bruche ganz bedeutend aus und reducirte den Querschnitt in einem Theile, in welchem er schliesslich mit sehnig faseriger Bruchfläche zerriss, so wird der Stab bei der zweiten Probe plötzlich, ohne vorherige merkbare Verlängerung, abreissen und in Folge des plötzlichen Bruches ein körnig krystallinisches Gefüge zeigen. Eisen, welches auf solche Weise angestrengt wurde, ist nicht im Stande, plötzliche Spannungen mit derselben Sicherheit zu tragen, trotzdem die Elasticitätsgrenze desselben hinausgeschoben worden ist.

Es ist nun sehr wahrscheinlich, dass dieselbe Härte und Sprödigkeit des Materials, welche durch eine grössere Last in kürzerer Zeit im Eisen erzeugt wird, auch durch eine weit geringere Last in einem längeren Zeitraum verursacht werden kann. Hieraus mag sich erklären lassen, warum Kesselbleche, die ursprünglich von guter dehnbarer Qualität waren, nach jahrelangem Gebrauche spröde und hart gefunden wurden, und zwar besonders an solchen Stellen, wo dieselben sehr hart in Anspruch genommen wurden, wie im Kesselmantel nahe am Dom, wenn für letzteren ein grosses Loch geschnitten wurde, oder in Locomotivkesseln, wo diese mit dem Rahmen verankert waren. Man vergesse hierbei nicht, dass Kessel ausser dem verhältnissmässig gleichmässigen Dampfdruck oft noch aller-

hand anderen, mehr plötzlich wirkenden Stössen und Spannungen durch kalte Luft und Wasserströmungen, plötzliches Oeffnen der Ventile und dergleichen ausgesetzt sind.

Die Elasticitätsgrenze des Eisens wird sowohl wesentlich durch die Anzahl der darauf wirkenden Lasten oder Stösse und Spannungen beeinflusst, als auch durch die Verschiedenheit der Intensität derselben und die Zeit, während welcher die constanten und variabelen Lasten wirksam sind. Nach den Resultaten vorsichtig ausgeführter Experimente von verschiedenen Autoritäten und nach der Erfahrung im Kesselbau im Allgemeinen lässt sich mit ziemlicher Sicherheit annehmen, dass die Elasticitätsgrenze von Kesselblechen im Durchschnitt zu 15,7 Kilo pro Quadratmillimeter angenommen werden darf, also etwa die halbe Bruchbelastung. Um jedoch etwaigen Zufällen Genüge zu leisten und sicher zu gehen, setze man den, für die hydraulische Probe zu benutzenden Druck für einen neuen Kessel auf nur $^2/_5$ der Bruchbelastung in der schwächsten Stelle, also den Nietnähten, fest.

Die Betriebsdampfspannung betrage die Hälfte des bei der hydraulischen Probe benutzten Druckes wenigstens für gewöhnliche Kessel. Für solche, die für Betriebsspannungen von fünf Atmosphären und mehr bestimmt sind, erlaubt das deutsche Kesselgesetz eine Druckprobe von fünf Atmosphären über der concessionirten Spannung. Tabellen über die Bruchbelastung für Rohre mit innerem und äusserem Druck, mit Berücksichtigung der Nietnähte, sind im siebenzehnten Capitel gegeben.

Dieselben Verhältnisse für Probe und Betriebsspannung können auch für alte Kessel benutzt werden, wenn dieselben keinen weiteren Spannungen ausgesetzt waren als dem Dampfdruck, trotzdem auch dieser oft viele Male in einem Tage sich in gewissen Grenzen ändert. Ehe man einen alten Kessel jedoch mit $^2/_5$ der Bruchbelastung prüfen darf, muss man sich sorgfältig und genau über seinen Zustand unterrichtet haben. Dass hierzu die allersorgfältigste und eingehendste Revision nöthig ist, und auf alle schwachen Stellen, wie Verrosten, Furchen und dergleichen, vorsichtig zu achten und darauf bei der Berechnung Rücksicht zu nehmen, ist selbstverständlich. Es sei hier erwähnt, dass Bleche durch Rosten schon etwas verdünnt sein dürfen, wenn dies nicht in der Nietnaht selbst stattfindet, ohne dass dieselben schwächer sind als die Nietnähte, und würde in diesem Falle der Kessel nicht schwächer

sein, als wenn neu, weil die Schwächung nicht an der schwächsten, sondern an der stärksten Stelle stattgefunden hat. Leider lassen nur die wenigsten Kessel eine so gründliche Revision im Innern zu, wie sie zur Feststellung des zu gestattenden Betriebsdruckes für einen alten Kessel nöthig ist, und selten unterzieht man sich dieser keineswegs leichten und angenehmen Arbeit, sondern rechnet einfach nach der ursprünglichen Stärke des Kessels und reducirt im Verhältniss zur Zeit, während welcher dieser Kessel im Betriebe war, die Betriebsspannung. Leider ist diese Methode ebenso verbreitet als sie verwerflich ist, und es kann eine wirkliche gründliche Untersuchung eines Kessels nur von einem dazu geschulten Inspector ausgeführt werden, wie solche bei den besseren Kesselrevisionsvereinen zu finden sind.

Wenn sich der Zustand eines Kessels nach mehrjährigem Betriebe nicht befriedigend feststellen lässt, so sollte der Probedruck den vierten Theil der veranschlagten absoluten Festigkeit der Nietnähte und Anker nicht übersteigen, und die Betriebsspannung in Folge dessen etwa auf achtfache Sicherheit festgesetzt werden.

In manchen Fällen sind die Blechplatten eines Kessels ausser der Inanspruchnahme auf absolute Festigkeit noch ganz bedeutend unter dem Einflusse von Compression, wie in den Manteln von vielen langen cylindrischen Kesseln mit äusserer Feuerung, und in dem Mantel solcher Locomotivkessel, die unbeweglich auf dem Rahmen befestigt sind. In solchen Fällen wird das Material nach längerem Gebrauche sehr bedeutend erschlafft, die absolute Festigkeit desselben hat abgenommen und das Eisen ist in eine spröde, unzuverlässige Masse übergegangen; über die genauen Angaben des Verlustes fehlt es uns jedoch an Daten, wahrscheinlich ist es jedoch, dass die Elasticitätsgrenze nicht so sehr reducirt ist als die absolute Festigkeit des Materials, und man darf in Folge dessen unter solchen Umständen den oben angegebenen Sicherheitscoëfficienten benutzen, muss dann aber den hydraulischen Druck allmälig steigern und darauf achten, dass die Bleche, wenn unter Druck, nicht durch Hämmern oder durch Stösse in Vibrationen versetzt werden.

Bei der endlichen Bestimmung des Sicherheitscoëfficienten für die Betriebsspannung müssen wir uns von den obwaltenden Umständen leiten lassen. Für einen Kessel, der in regelmässigen Zwischenräumen gründlich untersucht wird, und dessen

Zustand sich bei jeder Untersuchung zur Zufriedenheit feststellen lässt, würden wir gerechtfertigt sein, einen geringeren Sicherheitscoëfficienten zu benutzen, als für einen Kessel, der vielleicht mehrere Jahre im Betriebe sein wird, ohne dass er während dieser Zeit gründlich von einer erfahrenen Person untersucht werden könnte. Im ersteren Falle würde man bei einem so geringen Sicherheitscoëfficienten wie 3 sicherer gehen, als im letzteren Falle bei 6. Ferner kann für Kessel unter regelmässiger Aufsicht in dem Falle ein geringerer Sicherheitscoëfficient erlaubt werden, wenn das Wasser frei von Säuren, die Züge und das Mauerwerk trocken, und die Inanspruchnahme des Kessels eine gleichförmige ist, als wenn diese günstigen Zustände nicht existiren.

Im Allgemeinen dürfen wir für neue Kessel, oder solche, deren Zustand genau bekannt und regelmässig alle 6 bis 12 Monate festgestellt wird (oder in besonderen Fällen häufiger), einen Sicherheitscoëfficienten von 5 oder selbst etwas weniger annehmen. Kesseln, deren Zustand mit Sicherheit nicht festzustellen ist, und die nicht regelmässig untersucht werden können, gebe man einen Sicherheitscoëfficienten von 6 bis 8, je nach den Umständen.

Da die Stärke cylindrischer Rohre mit äusserem Drucke sich mit dem Quadrate der Blechstärke vermindert, während die des Kesselmantels mit innerem Drucke nur einfach mit der Stärke variirt, so erlaube man für erstere einen höheren Sicherheitscoëfficienten.

Elftes Capitel.

Kesselprüfung.

Das einzige Mittel, welches wir besitzen, um mit einiger Genauigkeit die Sicherheit eines Kessels zu prüfen, ist die Anwendung von Druck unter Umständen, welche denen im praktischen Gebrauche des Kessels am nächsten kommen. Mag ein Kessel noch so vorsichtig entworfen, und nach besten, durch sorgfältige Untersuchungen und längere Erfahrung erworbenen Kenntnissen über die Festigkeit und Vertheilung des Materials construirt, und mag auch jedes Blech vor seiner Verwendung geprüft sein, so kann doch noch immer ein Zweifel über die wirkliche Stärke des Kessels erhoben werden, weil das Material während der Verarbeitung noch Schäden erlitten haben kann, die selbst der vorsichtigsten Aufsicht entgangen sind. In einem neuen, selbst von einer renommirten Firma angefertigten Kessel bleibt stets die Möglichkeit von Fehlern im Material, wie: unganze und schieferige Bleche, Walz- und Winkeleisen und blasiger Guss; sowie in der Construction, wie: schlechtes Schweissen, nachlässiges Nieten, beim Flantschenbiegen verbrannte und gerissene Bleche und viele andere Fehler, welche sich auf Unerfahrenheit oder auch rücksichtslose Unvorsichtigkeit der Arbeiter zurückführen lassen.

Viele Fälle von gefährlichen Schäden, die selbst die sorgfältigste Untersuchung des fertigen Kessels nicht zu entdecken im Stande war, sind oft durch die Wasserdruckprobe, verbunden mit vorsichtiger Revision, ans Licht gebracht worden.

Einige Beispiele mögen hier am Platze sein. In einem neuen Kessel waren in mehreren Blechen die Nietlöcher für Niete von 19 mm, statt 20 mm Durchmesser zu sein, länglich bis auf 26 mm nachgetrieben worden, um auf die des anliegenden

Bleches zu passen. Der Querschnitt der Bleche war dadurch in der Nietnaht um 14 bis 15 Proc. mehr geschwächt als anderweitig nöthig gewesen wäre. Die Festigkeit des Materials war noch weiter durch kleine, von den unvernünftig aufgetriebenen Nietlöchern ausgehende Risse verringert. Die Schwierigkeit oder besser Unmöglichkeit, die Nietnaht bei der Wasserdruckprobe dicht zu erhalten, führte zur Entdeckung dieses, jedenfalls gefährlichen Umstandes.

In einem anderen Falle waren die Blechanker im Boden eines Cornishkessels so knapp zwischen die Doppelwinkeleisen genietet, dass zwischen den Nieten und der Blechkante fast kein Material mehr stehen geblieben war. Ein solcher Fehler kann, da die Stelle vollständig versteckt liegt, von dem Auge nicht bemerkt werden, ebensowenig liesse sich derselbe beim Anschlagen mit dem Hammer durch den Klang entdecken; bei der Wasserdruckprobe dagegen bog sich der Kesselboden aus und führte so zur Entdeckung.

Diese beiden Fälle beweisen, dass die blosse innere Revision eines neuen Kessels möglicher Weise unzuverlässig sein kann, und zeigen ferner, dass Kessel sowohl während ihres Baues als auch nach ihrer Vollendung einer sorgfältigen Untersuchung zu unterziehen sind.

Kesseln, die, wie Locomotivkessel, nur eine theilweise Untersuchung zulassen, sollte man deshalb einen höheren Sicherheitscoëfficienten geben. In Röhrenkesseln würde die Entfernung der Röhren schon allein zu kostspielig sein, um eine vollständige periodische Untersuchung vorzunehmen, und der Wasserraum zwischen der äusseren und inneren Feuerbüchse ist dem Auge fast gänzlich unzugänglich. Ferner sind eine Unzahl von Schiffskesseln und die sämmtlichen kleineren Locomobil- und Dampfkrahnkessel so construirt, dass eine gründliche Untersuchung unmöglich ist. Es giebt ferner auch Kessel, deren Construction so aussergewöhnlich irregulär und complicirt ist, dass selbst eine annähernde Festigkeitsberechnung ausser Frage steht. Für alle diese Fälle giebt es nun eben nur eine Methode, die Festigkeit zu ermitteln, und dies ist die Anwendung von Druck.

Die verschiedenen Prüfungsmethoden lassen sich unter zwei Gruppen bringen, es sind dies entweder Dampf- oder Wasserdruckproben.

Für diejenigen, welche mit der Dampfprobe nicht bekannt sind, mag es fast wie Wahnwitz erscheinen, einen Kessel mit

Dampf zu prüfen, um festzustellen, dass derselbe bei einem 50 Proc. oder 25 Proc. geringeren Drucke noch sicher ist. Nichtsdestoweniger geschieht dies wirklich, und war einst die gewöhnliche Manier in vielen Kesselschmieden und Eisenbahnwerken in England und auf dem Continente. Diese Methode ist weiter nichts, als ein Versuch, den Kessel in der Kesselschmiede zu explodiren, damit derselbe nicht etwa in der Fabrik des Käufers oder auf der Fahrt, wenn Locomotiv- oder Schiffskessel, explodirt. Trotzdem vielleicht Hunderte oder Tausende von Kesseln diese Procedur glücklich überstanden haben, deren Gefahr noch durch fortwährendes Hämmern und Stemmen an undichten Nieten und Nähten vergrössert wird, so bleibt doch das Princip in sich selbst schlecht und verwerflich, und kein noch so grosser Erfolg, welcher dasselbe bisher begleitet haben mag, kann es rechtfertigen. Zu Gunsten der Dampfdruckprobe wird behauptet, dass es die einzige Methode ist, bei welcher die Inanspruchnahme dieselbe sein kann, als wenn sich der Kessel im Betriebe befindet. Dies ist zweifellos in der Hauptsache wahr, aber die Dampfdruckprobe sollte stets erst dann angewandt werden, wenn die Stärke des Kessels durch die Wasserdruckprobe vorher nachgewiesen ist.

Was die verschiedenen angewandten Methoden der Wasserdruckprobe anbetrifft, so ist die verbreitetste jedenfalls die, so lange Wasser in den Kessel zu pumpen, bis der gewünschte Druck erreicht ist. Hierauf wird der Zustand der Nietnähte und Nieten untersucht, und die auffallendsten Fehler und Verzerrungen vielleicht notirt. Dies ist im besten Falle nur eine unbefriedigende nachlässige Manier der Prüfung und hat höchst wenig Werth. Es wird natürlich von der Construction und Grösse des Kessels sowie von anderen Umständen über Lage und Zugänglichkeit desselben abhängen, welches der best einzuschlagende Weg bei der Druckprobe in einem besonderen Falle sei. Prüft man einen Kessel, dessen Zustand nicht lange vorher durch vorsichtige Untersuchung und Druckprobe befriedigend festgestellt worden ist, so genügt es, den vorgeschriebenen Druck im Kessel herzustellen, und bei geschlossenen Ventilen den Kessel eine Zeitlang ruhig stehen zu lassen. Bleibt der Druck constant oder nimmt nur sehr wenig ab, so hat man dadurch die Gewissheit erlangt, dass kein Leck vorhanden ist; trotzdem ist es jedoch rathsam, während der Kessel unter Druck ist, alle die Theile vorsichtig zu beobachten, die zugänglich sind. Ein Kessel mag in

wenigen Minuten ein Geringes an Druck verlieren, ohne dass der Leck von irgend welcher Bedeutung sei, während derselbe Druckverlust in einem anderen Kessel in Folge eines Fehlers stattfinden kann, der nicht übersehen werden darf.

Bei Prüfung eines neuen Kessels messe man vorsichtig die verschiedenen Kesseltheile, welche unter Druck eine Formveränderung erleiden könnten, und zeichne die Resultate auf. In Flammenrohrkesseln sollte jeder Ring, aus dem die ganze Länge des Flammenrohres zusammengesetzt ist, vorsichtig im Durchmesser gemessen werden; man thut gut, dies horizontal und vertical auszuführen, falls das Rohr etwas elliptisch ist, da sich in diesem Falle die elliptische Form unter Druck verschlimmert.

Die Punkte, in denen man die Rohre gemessen, zeichne man durch Körnerschläge, und schreibe die Dimension dicht daneben auf die Platte selbst, weil man dann unter Druck jeden beliebigen Punkt im Augenblick nachmessen und sich überzeugen kann, ob und wie viel die Form durch den Druck beeinflusst ist. Manche Ingenieure ziehen es vor, für die verschiedenen Punkte nach Länge geschnittene Stäbchen aus Holz- oder Drahtlehnen anzufertigen, jedoch haben diese den Uebelstand, dass falls ein Zusammendrücken des Rohres in einem Punkte stattfindet, sich die Lehne nicht anwenden lässt und man nicht weiss, wie gross der Betrag der Formänderung ist. Ein handliches Instrument für Flammenrohre ist eine an beiden Enden zugespitzte Schublehre, die gleichzeitig nach Maass eingetheilt ist.

Es ist mühevoll und schwierig, den Umfang grosser Kessel mit auch nur annähernder Genauigkeit zu messen, gewöhnlich geschieht dies mit Stahldraht oder einem nach Maass getheilten Stahlband. Da jedoch die constante Ausdehnung eines cylindrischen Kessels unter Druck nur eine sehr geringe ist, so kann man dieselbe meist mit den angewandten Hilfsmitteln gar nicht wahrnehmen. In Folge dessen hat man die meisten für diesen Zweck vorgeschlagenen und hier und da angewandten Methoden bald wieder fallen lassen. Der Einfluss des Druckes auf ebene Flächen, verankert oder nicht, lässt sich jedoch leicht und mit einfachen Hilfsmitteln feststellen, und sollte nie versäumt werden.

Nachdem der Kessel einige Zeit unter Druck gestanden, müssen die vorher festgestellten Dimensionen nachgemessen und etwaige Formänderungen vorsichtig notirt werden. Hierauf

öffne man einen Ablasshahn oder Ventil, wodurch der Druck plötzlich aufhört, und messe nochmals, um festzustellen, ob irgend welche bleibende Formänderung stattgefunden hat oder nicht. Falls eine constante Formänderung eingetreten ist, untersuche man vorsichtig, ob dies durch Ueberschreiten der Elasticitätsgrenze des Materials oder durch schlechte Construction verursacht worden ist. Es giebt hier Fälle, wie z. B. bei flachen verankerten oder durch Stehbolzen verstärkten Wänden, wo eine constante geringe Wölbung stattfinden darf, ohne irgendwie gefährlich zu sein, und die bei gewöhnlicher Betriebsspannung ohne alle Bedeutung ist; besonders kommt dies in den ebenen Wänden von Feuerkasten vor, weil es fast unmöglich ist, alle Stehbolzen genau so einzuschrauben, dass jeder den ihm zukommenden Theil des Gesammtdruckes aufnimmt. Bei der Druckprobe nun gleicht sich dies aus, und erst nachdem sich der eine oder andere Stehbolzen um ein Geringes gestreckt, oder die Platte sich gesetzt hat, wird die ganze flache Seite eine constante Form annehmen. Es ist bei derartigen Druckproben oft nicht leicht festzustellen, was ist eine gefährliche, und was eine natürliche oder zulässige Formänderung, und gehört hierzu eine längere Praxis; es würde auch deshalb falsch sein, hier Fälle anzugeben, in denen solche Formänderungen schadlos und zulässig sind; oft ist eine zweite Druckprobe anzurathen.

Bemerkt man eine constante Aenderung der Dimensionen eines Flammenrohres, was sich meist im Flachdrücken zeigt, so muss hierbei mit grosser Vorsicht verfahren werden, weil dies ein Fehler ist, der sich mehr und mehr verschlimmert, und zwar nicht nur beim Probedruck, sondern vielleicht schon beim gewöhnlichen Betriebe. Man wiederhole in solchen Fällen die Probe, und findet man, dass der Zustand sich verschlimmert, so ist sofort an eine Aenderung zu schreiten.

Von Vielen wird angerathen, die etwa leckenden Nähte und Nieten unter Druck vorzuzeichnen und ehe dieselben verstemmt werden, den Druck aufzuheben. Schon für die Wasserdruckprobe ist dies entschieden anzurathen, besonders aber versuche man nie unter Dampfdruck vielleicht beim ersten Anheizen leckende Stellen zu verstemmen. Die durch das Hämmern und Stemmen verursachten Stösse und Vibrationen können zu weiteren Lecken führen, und falls der Leck in Folge eines Risses im Blech entstanden sein sollte, leicht Anlass zu gefährlichen Unfällen geben. Im Allgemeinen findet

man, dass man selbst einen kleinen Leck besser verstemmen kann, wenn kein Druck im Kessel ist.

Es ist oft und von vielen Seiten vorgeschlagen, Kessel mit heissem Wasser zu prüfen, weil dann die Umstände denen unter wirklichem Betriebe näher kommen. Dieser Grund mag ein guter erscheinen, je näher man jedoch die Temperatur des Kessels der im Betriebe erreichten bringt, um so weiter entfernt man eben durch die Hitze den inspicirenden Ingenieur vom Kessel, und dieser Umstand scheint dem Schreiber dieses entschieden und sehr wesentlich gegen die Heisswasserdruckprobe zu sprechen. Flammenrohr- und Feuerkastenkessel, die unter Druck eine innere Inspection unbedingt nöthig machen, weil ohne diese die Probe überhaupt werthlos ist, können deshalb unmöglich mit heissem Wasser geprüft werden. Ueberdies bedenke man, dass die gleichmässige durch Füllen mit heissem Wasser erreichte Ausdehnung des Kessels in den meisten Fällen den localen Ausdehnungen in Folge directer Einwirkung des Feuers an manchen Stellen, kalten Speisewassers an anderen, und einer Variation von Temperaturen in den übrigen durchaus nicht ähnlich ist.

Eine andere in einigen Fällen ausgeführte Methode der Kesseldruckprobe basirt darauf, dass das Wasser sich von 16^0 bis 100^0 C. ungefähr um $1/24$ seines Volumens ausdehnt. Man füllt den Kessel mit kaltem Wasser, und fängt nun an, denselben bei regelmässigem Feuer langsam zu erhitzen, bis der gewünschte Druck erreicht ist. Zeigt nun das Manometer ein gleichmässiges Steigen des Druckes, ohne plötzliche Sprünge und Oscillationen, so nimmt man an, dass alles in Ordnung ist, während andererseits Unregelmässigkeiten im Steigen des Druckes gewöhnlich als Zeichen von Schwäche in irgend welchem Punkte angesehen werden. Dass sich bei dieser Methode ein gleichmässiger Druck auf längere Zeit nicht einhalten lässt, und es überhaupt schwer sein wird, das Feuer so regelmässig zu halten, dass man aus dem angezeigten Druck allein auf den guten Zustand des Kessels schliessen dürfte, ist leicht einzusehen. Als Nebenprobe mag diese Methode von ihren Anhängern immer angewendet werden, die wirkliche Revision unter Druck kann sie jedoch nicht ersetzen, weil hier noch mehr wie bei heissem Wasser eine Inspection unmöglich ist.

Da es von grosser Bedeutung ist, eine permanente Volumenzunahme im Kessel, durch den Druck verursacht, bemerken

zu können, und den Betrag derselben zu kennen, ist folgender Plan vorgeschlagen worden. Nachdem der Kessel mit Wasser gefüllt ist, und sobald das Manometer beginnt sich zu rühren, misst man das noch in den Kessel gepumpte Wasser, bis der erwünschte Druck erreicht ist. Tritt nun keine permanente Erweiterung des Mantels oder Zusammendrückung der Flammenrohre ein, und was die Hauptsache ist, leckt der Kessel während der Probe absolut nicht, so muss die Quantität Wasser, die aus dem Kessel entfernt werden kann, bis das Manometer wieder auf 0 steht, gleich der sein, die hineingepumpt wurde. Leider sind die hierbei nöthigen Voraussetzungen, besonders das Lecken, so schwer zu verwirklichen, und ferner wird, besonders wenn das Wasser nicht sehr vorsichtig ausgelassen wird, durch die Elasticität der Bleche mehr Wasser aus dem Kessel entfernt als hineingepumpt wurde, um den Druck zu erzeugen, dass das Resultat im besten Falle nur unsicher ist. Eines der grössten Hindernisse gegen diese Methode ist jedoch die fast nie gänzlich zu entfernende Luft, welche sich in verschiedenen Theilen des Kessels stets sammelt und nicht aus allen entfernt werden kann, auch enthält das Wasser stets Luft absorbirt, so dass diese Methode befriedigende und zuverlässige Resultate nicht liefert.

Beim Prüfen eines Kessels achte man stets aufs Sorgfältigste darauf, dass die Instrumente, welche den Druck anzuzeigen haben, in gutem Zustande sind. Auf belastete Sicherheitsventile sich zu verlassen ist gänzlich unzulässig, und die gewöhnlichen Metallmanometer sind häufig nicht genau und ausserdem verschiedenen Zufällen unterworfen, die zu sehr unangenehmen Unfällen führen können. Die Versuchsmanometer der deutschen königlichen Beamten werden stets paarweise angewandt, und der einzig mögliche Unfall, der hier vorkommen könnte, ist der, dass die Verbindung des Manometerstutzens mit dem Kessel verstopft sein könnte, und der Kessel einem hohen Drucke ausgesetzt wird, ohne dass man es bemerkt.

Trotzdem man einen Kessel durch Wasserdruck nicht explodiren kann, so sind doch schon verschiedene sehr gefährliche Unfälle selbst bei hydraulischen Druckproben vorgekommen. Es kann dies durch das Bersten spröder besonders Stahlbleche verursacht werden, oder aber durch comprimirte Luft. Unter diesen beiden Ursachen vereinigt sind schon Platten, wenn nicht in Stücke zerrissen, so doch mit grosser

Gewalt zersprengt und vollständig umgebogen worden. Man sei deshalb vorsichtig, alle Luft so weit wie möglich aus dem Kessel zu entfernen; am höchsten Punkte befinde sich eine kleine verschraubbare Oeffnung und auch aus den Ventilkörpern lasse man die Luft entweichen, bis das Wasser in dieselben eintritt.

Auf den Grund hin, dass eine hydraulische Druckprobe uns über die wirkliche Stärke eines Kessels doch keinen Aufschluss giebt, wird dieselbe häufig als nutzlos verschrieen, und in Amerika hat sich eine Gesellschaft gebildet, die dieselbe gänzlich zu unterdrücken bezweckt und nur eine vorsichtige Inspection mit Gebrauch des Hammers zur Untersuchung durch den Klang für nöthig und zweckmässig hält. Natürlich hält derselbe Einwurf auch für jede andere Art der Druckprobe gut, muss aber auf das Entschiedenste widerlegt werden. Die Druckprobe soll eben dazu dienen, in Kesseln etwa mögliche Schwächen und Fehler zu zeigen, und wenn vorsichtig und gründlich durchgeführt erreicht man diesen Zweck auch vollständig, und erhalten wir durch die befriedigend bestandene Druckprobe eine gewisse Sicherheit für die Betriebsspannung. Ferner aber würde es, um die wirkliche Stärke eines Kessels zu prüfen, nöthig sein, die Druckprobe bis zur Zerstörung des Kessels fortzusetzen, oder wenigstens bis zu einem Grade, der den Kessel für den Betrieb völlig untauglich machen würde. Natürlich wird kein vernünftiger Mensch die Probe so weit treiben, wenn der Kessel wirklich benutzt werden soll, sondern eben damit zufrieden sein, dass derselbe einen zweifach so hohen Druck ausgehalten hat, als er im gewöhnlichen Betriebe ausgesetzt ist, ohne eine bleibende Formänderung zu zeigen.

Es giebt jedoch einen vernünftigeren Grund gegen die Druckprobe sowohl für Wasser als Dampf: Ein Kessel kann durch die Druckprobe entweder in einem oder dem anderen Theile oder selbst im Allgemeinen über die Elasticitätsgrenze hinaus gespannt werden, ohne dass man es bemerkt, und mag in Folge dessen selbst für die niedrigere Betriebsspannung unsicher sein.

In anderen Worten, der hohe Probedruck mag einen Kessel schwächen, während derselbe, wenn nur im gewöhnlichen Betriebe, für längere Zeit ausreichend stark genug gewesen sein möchte, so dass also eine etwaige Schwäche im Kessel durch den Probedruck verschlimmert sein könnte. Ein solcher

Fall ist durchaus nicht unmöglich, jedoch sollte diese Möglichkeit nicht die Prüfung unter Druck verhindern, sondern eine um so vorsichtigere Untersuchung aller Theile während der Druckprobe veranlassen. Uebrigens ist auch die Wahrscheinlichkeit bei gut construirten Kesseln nur sehr gering, und wenn ein Kessel durch die Druckprobe geschädigt wird, so kann er nicht als sicher für die halb so grosse Betriebsspannung bezeichnet werden. Die Gefahr, Kessel in dieser Weise zu beschädigen, liegt bei Röhrenkesseln am nächsten, weil besonders Rohre von grösserem Durchmesser, wenn einmal durch zu grossen Druck aus der cylindrischen Form gebracht, leicht schon bei weit geringerem Drucke weiter in ihrer Form geändert werden.

Wir kommen nun zu der Frage: Wie lange soll der Druck eingehalten werden? Auf der einen Seite mag die etwa mögliche Beschädigung des Kessels verhindert werden, wenn der höchste Druck nur einige Augenblicke wirksam ist, und auf diese Weise ein schwacher Kessel gerettet werden, während auf der anderen Seite etwaige Fehler und Mängel sich mehr fühlbar machen, wenn man den Druck während einer halben Stunde oder länger beibehält, und nur im letzteren Falle ist eine wirklich eingehende Untersuchung aller Theile unter Druck ausführbar. Der erste dieser Punkte ist eigentlich im Vorgehenden schon besprochen worden, ein Kessel, besonders wenn neu, kann nicht als betriebsfähig für einen bestimmten Dampfdruck angesehen werden, wenn er nicht im Stande ist, die vorschriftsmässige kalte Druckprobe ohne Beschädigung für einige Zeit zu ertragen. Undichtheit in Nietnähten zeigt sich häufig erst, nachdem der Kessel längere Zeit unter Druck gestanden hat; die Erklärung hierfür liegt in dem Umstande, dass häufig die Stelle, wo Wasser oder Dampf innen in die Nietnaht hineintritt, um mehrere Centimeter von der entfernt liegt, wo dasselbe sich aussen zeigt, und erst nach einiger Zeit sich einen Weg von der inneren zur äusseren undichten Stelle zu bahnen im Stande ist. Beim Zusammensetzen der Platten ist es fast unvermeidlich, wenn dieselben nicht vorsichtig zusammengebohrt und gebogen sind, solche Biegungen zu vermeiden, dass die eine oder andere Stelle durch inneren Druck mehr oder weniger gespannt werde. Hält nun dieser Druck lange genug an, so hat das Material Gelegenheit, sich innerhalb der Elasticitätsgrenze der Form besser anzupassen, und die Folge hiervon ist auch ein

oft bemerkter Umstand, dass Stellen, die im Anfange bei niedrigerem Drucke lecken, unter dem vollen Drucke, besonders nach einiger Zeit, aufhören und sich völlig dicht zeigen.

Ist ein neuer fertiger Kessel auf der Kesselfabrik vorsichtig und gründlich untersucht und auf Druck geprüft worden, so ist es nicht nöthig, alle Theile bei der zweiten Prüfung an Ort und Stelle vor dem Einmauern noch einmal vorzunehmen. Füllt man in diesem Falle den Kessel, pumpt langsam bis zum Probedruck voll, beobachtet dabei den Kessel im Allgemeinen vorsichtig und richtet sein Augenmerk besonders auf solche Theile, die beim Transport gelitten haben könnten, wie bei Röhrenkesseln die Rohrwände, und lässt den Druck einige Zeit lang im Kessel, vielleicht eine halbe Stunde, so darf man sich zufrieden geben. Nur wenn ein Kessel von der allerbesten Art ist, wird der Druck während dieser Zeit constant bleiben, ein Druckverlust von 0,25 Kilo pro Quadratcentimeter ist jedoch meist nicht von Bedeutung.

Ob ein Kessel durch Dampf oder hydraulischen Druck mehr gespannt wird, ist einzig eine Frage der Construction. Flammenrohrkessel mit innerer Feuerung sowohl als andere Röhrenkessel werden unter Dampf oft bedeutend mehr in der Längsrichtung gespannt, weil sich die Rohre mehr ausdehnen als der Mantel. Es würde durchaus nicht ein Ding der Unmöglichkeit sein, einen Kessel zu construiren, der bei einem Dampfdruck von 3 oder 4 Atm. explodirte, während man in demselben einen Kaltwasserdruck von 20 und mehr Atmosphären erzeugen könnte. Das Lecken vieler Kessel an der unteren Seite in den Ringnähten verursacht durch die Temperatur Unterschiede im oberen und unteren Kesseltheile, und die ungleiche Ausdehnung von Rohren und Mantel, besonders bei forcirtem Feuer, kann bei der kalten Wasserprobe nicht auftreten, und es ist hieraus ersichtlich, dass die blosse Probe ohne weitere Untersuchung ein befriedigendes Urtheil über die Tauglichkeit eines Kessels zu fällen nicht ausreichend ist.

Häufig ist es weit schwieriger, einen Kessel gänzlich frei von Lecken und Schäumen in den Nieten und Nähten zu halten, wenn unter Wasserdruck, als wenn man einen ebenso hohen Dampfdruck in demselben hat. Die Ursache hierfür liegt unzweifelhaft darin, dass unter Dampf in Folge der höheren Temperatur die Nietlöcher und Nähte sich besser schliessen, auch stopft schon die geringste Rostbildung oder ein sehr geringer Niederschlag dies Lecken sehr oft. Leider

vertraut man zu häufig auf diesen Umstand und überlässt Lecke dem Zusetzen unter Dampfdruck, die weit richtiger verstemmt werden sollten.

Es wird oft darauf hingewiesen, dass durch zu plötzliche Dampfentwickelung in Folge forcirten Feuers, und durch plötzliches Oeffnen der Ventile und Hähne am Kessel sehr schädliche Stösse und Spannungen erzeugt werden, und dass diese von grösserem Nachtheile sein können, als der stete gleichmässige hydraulische Druck.

Unter gewöhnlichen Umständen mag dies wahr sein, wird aber nachdem der Kessel voll Wasser ist, die Pumpe unvernünftig und stossweise benutzt, so sind diese Stösse in Folge der gänzlichen Unelasticität des Wassers jedenfalls schädlicher als die, welche entstehen können, wenn der Kessel mit einem so elastischen Elemente wie Dampf gefüllt ist. Man vermeidet solche Stösse dadurch am sichersten, dass man die Verbindung zwischen Kessel und Druckpumpe von möglichst geringem Durchmesser ausführt.

Trotzdem es viele Opponenten gegen die hydraulische Druckprobe giebt, so sind doch die Vortheile derselben gegenüber den möglichen Nachtheilen so bedeutend, dass dieselbe in vielen Ländern gesetzlich verordnet ist. In den meisten Ländern ist man alten Kesseln gegenüber sehr nachgiebig, und, wie schon im vorigen Capitel erwähnt, leider zu oft mit Unrecht. Ehe man einen alten Kessel der vorschriftsmässigen Druckprobe unterzieht, wenn derselbe nicht unter regelmässiger Aufsicht und Inspection gestanden, ist es unbedingt nöthig, sich über die wirkliche Stärke desselben durch Messen der Bleche und Verankerungen soweit zu unterrichten, dass man einen zulässigen höchsten Probedruck festsetzen kann. Wo dies unmöglich ist, wie in vielen Multitubularkesseln, die im Innern nicht befahrbar sind, begnüge man sich damit, den Probedruck $1^1/_2$ mal so gross als den bisherigen Betriebsdruck zu wählen, und wenn nöthig letzteren in demselben Verhältnisse zu reduciren.

Die Inspection von Kesseln sollte bereits in der Kesselschmiede beginnen, da gewisse Punkte besonders über die Qualität des Materials nur hier untersucht werden können.

Zum Schluss verweise ich noch auf die polizeilichen Verordnungen über die Anlage und den Betrieb von Dampfkesseln, die diesem Werke als Anhang beigefügt sind, und möchte Kesselbesitzer auf die Vergünstigung aufmerksam

machen, welche sie geniessen, wenn sie Vereinen angehören, die eine regelmässige und sorgfältige Untersuchung und Ueberwachung der Kessel vornehmen lassen. Die Herren Bauinspectoren, durch die Kesselrevisionen vorschriftsmässig ausgeführt werden sollen, können nur in seltenen Fällen die passenden Persönlichkeiten sein; man kann auch kaum von einem königlichen Bauinspector erwarten, dass er in einen schmutzigen heissen Kessel kriechen, und stundenlang darin herumsuchen und herumhämmern soll. Dazu eignet sich ein junger, eigens dazu geschulter Mensch, der selbst praktische Kenntnisse des Kesselbaues besitzt, weit besser. Kesselbesitzer thun deshalb sicherlich gut, ihre Kessel einem oder dem anderen guten Revisionsvereine zur regelmässigen Aufsicht zu übergeben, und werden, wenn sie gewissenhaft die Anordnungen der Inspectoren in Bezug auf Reparaturen etc. ausführen, sehr bald, ausser der ungleich höheren Betriebssicherheit, mit der sie arbeiten, eine Ersparniss an Reparaturen und sehr oft an Brennmaterial bemerken, die die geringen Kosten der Revision in kurzer Zeit decken. Wo jedoch zu den Revisionen der Dampfkessel besondere Ingenieure vom Staate ernannt werden, sind diese jedenfalls den Vereinen vorzuziehen, da es leider bei letzteren zu leicht vorkommen kann, dass dieselben mehr ihre eigenen Interessen im Auge haben.

Zwölftes Capitel.

Kesselexplosionen.

Sicherheit, oder die Abwesenheit der Möglichkeit des Explodirens ist die erste Bedingung, nach der man bei Anwendung eines Dampfkessels trachten sollte. Dass diese Bedingung bei Weitem nicht allgemein erfüllt ist, beweisen die leider noch zu häufigen Unfälle und Explosionen von Dampfkesseln.

Es war früher Regel und unglücklicherweise noch immer hier und da der Fall, dass man Kesselexplosionen auf allerhand geheime unerklärliche Ursachen zu schieben suchte. Solche Phänomene, wie Elektricität, die Bildung von explodirbaren Gasen innerhalb des Kessels durch Zersetzung des Wassers in Knallgas, die momentane Entwickelung von grossen Quantitäten Dampf aus überhitztem Wasser, erklärt durch den Sphäroïdalzustand des Wassers im Kessel, oder durch die gänzliche Abwesenheit von Luft in demselben, tauchen noch immer wieder ab und zu auf, um Kesselexplosionen zu erklären. Gewöhnlich werden diese Ursachen mit einer Beharrlichkeit und Zuverlässigkeit vertheidigt, die ungefähr im umgekehrten Verhältniss zu der Anwendbarkeit auf den betreffenden Fall steht. Je unwahrscheinlicher die Explosionstheorie, um so hartnäckiger wird dieselbe von ihren Anhängern vertheidigt. Die Abneigung der wirklich verantwortlichen Persönlichkeiten, die wirkliche Ursache zu kennen und zu glauben, sowohl, wie die Unfähigkeit der Untersuchenden, die vorhandenen Anzeichen zu sammeln und daraus richtige Schlüsse zu ziehen, sind zweifellos der Grund, weshalb so viel dieses speculativen Unsinns über diesen Umstand Verbreitung gefunden hat. Oft mag auch das Bestreben, etwas sehr wissenschaftlich und gelehrt Erscheinendes als Ursache anzugeben, dazu geführt haben, derartigen Unsinn auszusprechen, kann

es Wunder nehmen, dass sich stets Gläubige finden, die denselben selbst zwar nicht verstehen, aber ihr Möglichstes thun, ihn zu verbreiten. Es ist ja auch so bequem, die Verantwortlichkeit von sich selbst und allen Anderen abzuwälzen und den Unfall auf Umstände zu schieben, die ausser dem Bereiche der menschlichen Macht liegen, und gegen die es in Folge dessen auch keine Mittel giebt.

In den letzten Jahren ist besonders von den Ingenieuren der Versicherungsvereine und einigen Privaten Vieles gethan worden, das Mysteriöse der Kesselexplosionen aufzuklären, und die wahren Ursachen festzustellen. In der Regel explodirt ein Kessel nur in Folge einer Ursache, es ist dies ein zu hoher Druck für die momentanen Zustände desselben. Es ist durchaus nicht nöthig, dass der Druck den Betriebsdruck bedeutend oder überhaupt übersteigt, viele Kessel sind in einem oder dem anderen Theile so schwach, dass es einer höheren Spannung gar nicht bedarf, um eine Explosion herbeizuführen.

Die Ursachen für die Schwäche eines Kessels können nun sehr verschiedener Art sein, sie können darin liegen, dass 1. die ursprüngliche Construction und Widerstandsfähigkeit von denen nicht verstanden sind, die den Betriebsdruck festzusetzen haben; dieser Fall kommt hauptsächlich bei Inbetriebnahme alter Kessel vor, und wird durch Unverstand verursacht; 2. dass die Stärke des Kessels, ursprünglich hinreichend, um dem beabsichtigten Druck zu widerstehen, im Laufe der Zeit durch Abnutzung vermindert worden ist, in welchem Falle der Fehler auf Unachtsamkeit des Inspections- oder Wartepersonals zu schieben ist; 3. dass die Stärke des Kessels plötzlich über Gebühren in Anspruch genommen, oder unverhältnissmässig verringert wird, wie z. B. in Folge ungleichförmiger Contraction, verursacht durch unerwartete Zufälle oder durch Vernachlässigung, oder endlich vielleicht in sehr seltenen Fällen durch einen oder den anderen derartiger Unfälle, die, über das Handeln des Menschen erhaben, so gern als Ursachen angegeben werden; 4. dass Material oder Arbeit fehlerhaft sind, deren Vorkommen zwar in den meisten Fällen durch vorsichtige und gewissenhafte Inspection entdeckt werden kann, die jedoch zuweilen selbst dem schärfsten Auge und der bestausgeführten Prüfung entgehen können, und uns in dem Falle daran erinnern, dass der Mensch eben nicht unfehlbar ist.

Betrachten wir diese vier Fälle einmal näher, so finden

wir unter 1. dass Unverstand in Bezug auf die Constructionsprincipien sich häufig darin zeigt, dass grosse flache Kesselwände ohne ausreichende oder falsch angebrachte Verankerung und Versteifung in Kesseln aller Art vorkommen. Das Entfernen von Flammenrohren aus Kesseln, die dadurch in einfache cylindrische Kessel mit flachen Enden verwandelt werden, ohne den Festigkeitsverlust durch ausreichende Anker zu ersetzen, ist ein durchaus nicht seltenes Beispiel dieser Art.

In manchen Arten von Flammenrohrkesseln führt man dieselben nicht von einer zur anderen Stirnplatte, sondern lässt sie seitlich aus dem Mantel heraustreten oder ordnet sie auch wohl hufeisenartig an. Natürlich verlieren dieselben in solchen Fällen allen Werth als Verstärkungen des Kessels in der Längsrichtung, und sind solche nicht anderweitig angebracht, so ist eine Explosion durchaus nicht zu verwundern.

Es lassen sich eine Reihe von Constructionsfehlern anführen, die zu Explosionen geführt haben, und da dieselben meist bereits im Capitel über „Kesselconstruction“ besprochen worden sind, so genüge es, hier nur kurz dieselben zu erwähnen: Anwendung von unzureichenden diagonalen Verstärkungsankern; Anker, die in diagonaler Richtung an den Flammenrohren befestigt sind; Longitudinalanker, die durch Verbiegen in sich oder durch verbogene Befestigungsbolzen nutzlos geworden sind; Deckbarren in Feuerkasten mit flachen Decken, die in der Mitte ausgeschnitten sind, um Dampfsammlern oder sonstigen inneren Armaturtheilen auszuweichen; Abwesenheit von Stehbolzen in solchen ebenen Feuerkastentheilen, wo dieselben nöthig sind, oder Stehbolzen von unzureichender Stärke; Abwesenheit von Verstärkungsringen aussen an Rohren von grossem Durchmesser; Entfernung solcher Ringe wegen Mangel an Raum oder Gefahr des Ueberhitzens, ohne anderweitig für Verstärkung zu sorgen; Ringe, die in Hälften angebracht und nicht zu einem Ganzen solide verbunden sind; Ringe an elliptischen Rohren angebracht, als ob dieselben hier ebenso stark wären, wie an runden Rohren; Anbringung von zu vielen Tragstühlen aussen an Kesseln, die, in das Mauerwerk eingesetzt, das freie Ausdehnen des Kessels verhindern; das Ausschneiden grosser Löcher aus dem Kesselmantel für Dampfdome, Mannlöcher und andere Armaturen, ohne den Verlust an Stärke anderweitig zu ersetzen; feste Verbindung von Kesseln mit Rahmen, wodurch deren freie Ausdehnung verhindert wird, wie in Locomotiven; Vernachlässigung,

grosse runde oder ovale Verbrennungsräume mit dem Kesselmantel zu verankern; Versäumniss, grosse schwache Kesselmantel mit nach innen öffnenden Luftventilen zu versehen; zu feste unbiegsame Verankerung der Endplatten in verticalen Kesseln, wodurch die Ausdehnung der Rohre beeinträchtigt wird; unzureichende Verankerung von flachen Endplatten in verticalen Kesseln, die mit Hohofengasen geheizt werden, und eine Reihe anderer Ursachen, die bereits an anderen Stellen besprochen worden sind.

2. Solche Fehler und Schwächen, die in Folge längeren Gebrauches aus der Abnutzung des Kessels entstehen, und demselben höchst gefährlich werden können, sind im neunten Capitel ausführlich behandelt worden.

3. Die Stärke eines Kessels kann, wenn sonst ausreichend, plötzlich nur durch Ueberhitzen, oder durch Ausdehnung, oder Contraction der Flammenrohre unverhältnissmässig und in gefährlichem Grade beeinträchtigt werden. Ueberhitzen kann durch Wassermangel verursacht werden, oder durch Ansammlung von Niederschlägen auf den vom Feuer berührten Flächen; durch fehlerhafte Circulation; durch zu grosse Metallstärken in oder nahe am Feuer; durch zu intensive Einwirkung des Feuers auf bestimmte Punkte, selbst bei Anwendung reinen Wassers und dünner Bleche; durch Ansammlung von Dampf und Luft in den Rohren von Multitubular- und Röhrenkesseln, wo dieselben nicht entweichen können, um dem Wasser Platz zu machen; stets ein Constructionsfehler.

Wassermangel kann durch fahrlässiges Offenlassen von Hähnen und Ventilen, und in seltenen Fällen durch starkes Lecken und Rinnen in Nähten, Verschraubungen, Ventilen und anderen Armaturen verursacht werden. Zuweilen kann selbst sehr starkes Ueberschäumen und in kleinen verticalen Kesseln ein plötzlich forcirter Dampfverbrauch bei sehr geringem Wasservolumen die Ursache sein. Fehler im Speiseapparat haben oft Wassermangel verursacht, theils durch blosse Vernachlässigung, indem derselbe nicht früh genug in Thätigkeit gesetzt wurde, oder auch durch Unfälle, wie Festsetzen des Speiseventils, Bersten eines Rohres oder einer Verschraubung, Fehler im Speiseapparate, Pumpe oder Injector selbst. Zuweilen setzt sich auch ein Speiseventil fest, wenn offen, und kann dann das Wasser zurück durch die Pumpe in einen anderen Kessel übergehen. Indirect mag Wassermangel dadurch verursacht werden, dass die Wasserstandsgläser, Probirhähne,

Schwimmer und ähnliche Apparate falsch angebracht oder in Unordnung gerathen sind.

Die Ansammlung von Niederschlägen ist eine Folge der Anwendung schlechten Speisewassers. Diese Niederschläge sind entweder hart und fest oder schlammartig, in dickerem oder dünnerem Brei, und setzen sich in verschiedenen Theilen des Kessels von verschiedener Dicke an. Zuweilen verursachen die Unreinigkeiten keine Niederschläge, sondern verdicken das Wasser breiartig, und sind in diesem Zustande deshalb sehr gefährlich, weil sie am wenigsten beachtet werden. Ferner werden oft noch fremde Substanzen dem Wasser zugesetzt, um die Kesselsteinbildung zu verhindern, und bleiben diese, besonders in schwer zugänglichen Kesseln, oft selbst beim Reinigen darin liegen.

Schlechte Circulation kann ein Fehler der Construction des Kessels sein, wenn die Wasserräume zu enge ausgeführt werden, ein Umstand, der sich noch vergrössert durch Ansammlung von Niederschlägen; durch unrichtige Stellung von Wassercirculationsrohren; durch zu dicht gestellte Siederohre, die das Circuliren beeinträchtigen, und durch grosse Volumen kalten Wassers unter den Flammenrohren.

Ueberhitzen in Folge zu grosser Metallstärken wird zuweilen durch zu dicke Bleche, besonders bei Anwendung von Kesseln von Riesendimensionen; durch zu breite Nietnähte; schlecht angeordnete Verstärkungsringe für Flammenrohre, schlecht ausgeführte Reparaturen und unrichtiges Anbringen von Deckbarren und Stehbolzen auf Feuerkastendecken veranlasst.

Die Hitze kann zu intensiv und concentrirt nach Art einer Löthrohrflamme auf die Bleche einwirken, wenn, wie in manchen Kesseln mit innerer Feuerung, der Verbrennungsraum kurz und die Feuerbrücke hoch sind; die Flamme wird dann dicht an die Rohrwand angepresst, wodurch dieselbe entweder durch Ermattung geschwächt oder auch verbrannt werden kann. Die oberen Seiten horizontaler oder wenig geneigter Wasserrohre, in denen sich Dampf ansammelt, können leicht überhitzt werden, und werden schneller oder langsamer zerstört, je nach der Intensität des Feuers.

Die durch den Dampfraum gehenden Theile der Rohre in verticalen Kesseln sind der Gefahr des Ueberhitzens und Zusammengedrücktwerdens ausgesetzt, besonders wenn der Rost im Verhältniss zur feuerberührten Fläche gross und in Folge dessen die abziehenden Gase sehr heiss sind. Dass

aus diesem Grunde derartige verticale Kessel überall da gefährlich sind, wo es von Zeit zu Zeit nöthig wird, das Feuer, in Folge eines grossen Dampfverbrauchs, zu forciren, ist sicher, weil bei forcirtem Feuer die Bleche des Rohres leicht überhitzt werden können, und man sollte deshalb solche verticalen Kessel nur für sehr regelmässigen Dampfverbrauch anwenden, statt wie üblich überall dort, wo es an Raum mangelt.

Fälle von Schädigung eines Kessels durch plötzliches Abkühlen oder heftiges Erhitzen sind bereits im neunten Capitel besprochen worden. Das Ueberhitzen in Folge der Ablagerung von Niederschlägen wird natürlich in einfachen cylindrischen Kesseln mit äusserer Feuerung deshalb am leichtesten eintreten, weil sich die Niederschläge alle am Boden ansammeln, wo das Feuer direct auf die Bleche einwirkt. Aehnlich wird es in cylindrischen Kesseln mit Rauchrohren und innerer Feuerung, besonders bei kurzen Kesseln, der Fall sein, wo die heissen Feuergase unter den Kessel treten, deshalb ist auch ein solcher Kessel ähnlichen Gefahren ausgesetzt, wie der mit äusserer Feuerung.

4. Fehler im Material und der Arbeit werden am leichtesten in kleinen verticalen Kesseln sowie anderen Röhrenkesseln unbemerkt bleiben, weil das Innere derselben nicht untersucht werden kann, ohne die Rohre zu entfernen. Die am häufigsten vorkommenden Fehler in der Bearbeitung sind: fahrlässiges Lochen; Reissen in den Nietlöchern; verbrannte oder gebrochene Nieten; Bleche, die durch Verbrennen beschädigt sind; Brüche im Blech, die durch das Flantschen, Wölben, Biegen, Hämmern, Schweissen oder Lochen in der Kesselschmiede, oder durch Reparaturen entstanden sind; fehlerhaftes Schweissen von Blechen und Ankern; Brüche und Risse in eisernen und messingenen Siederohren und schlecht befestigte Anker. Alte Blechplatten werden oft beim Repariren und Aufsetzen von neuen Flicken gefährlich beschädigt und ferner noch durch die grössere Ausdehnung und Contraction, die ein neues Blech erleidet, besonders wenn direct über dem Feuer. Materialfehler, wie Blasen, schieferige und blätterige Stellen, und solche Fehler, die entstehen, wenn die Luppe nicht hinreichend gross war, um ein gesundes Blech daraus zu walzen, sowie anhängende und eingewalzte Schlackentheile, können meist, jedoch nicht immer, durch vorsichtige Inspection entdeckt werden. Sprödigkeit der Bleche, wenn nicht zu auffällig, kann natürlich im fertigen Kessel nur selten

bemerkt werden, am wenigsten bei einer blossen Untersuchung.

Kessel von hinreichender Stärke für die festgesetzte Betriebsspannung explodiren häufig durch zu grosse Ansammlung von Dampf. Der Ueberdruck kann dadurch verursacht werden, dass sich die Sicherheitsventile in schlechtem Zustande befinden oder von zu geringer Grösse sind. Zuweilen werden Sicherheitsventile an dem Dampfrohr, oder mit anderen Armaturentheilen auf einem besonderen Sitze befestigt, während des Reinigens nun werden die Oeffnungen vom Kessel häufig verstopft, um das Herabtröpfeln des heissen Wassers auf die Arbeiter zu vermeiden; bleibt nun, wie dies leicht geschehen kann, diese Oeffnung geschlossen, so ist das Ventil natürlich nutzlos. Ueberdruck wird ferner durch Ueberladung des Sicherheitsventils verursacht, zuweilen werden mehrere Gewichte auf den Hebel gehängt, zuweilen der Hebel festgekeilt; manchmal setzen sich jedoch auch die Ventile oder Ventilspindeln fest und verhindern dadurch das Abblasen. Oft werden die Sicherheitsventile deshalb überladen, weil sie in Folge fehlerhafter Construction oder Undichtheit schon bei geringerem Drucke abblasen, und eignen sich besonders die gewöhnlichen Hebelventile hierzu. Zuweilen zeigt das Manometer beim Abblasen des Sicherheitsventils einen geringeren Druck an, als den für den Kessel bestimmten, und wird deshalb das Gewicht vergrössert, oft findet es auch der Kesselwärter bequemer, das Ventil höher zu belasten, als sich rechtzeitig um seinen Kessel zu kümmern. Um dies möglichst zu umgehen, schneide man die Hebel dicht hinter dem Gewichte ab, und bei Federwagen füge man Rohrringe ein, damit die Feder nicht über den gewünschten Druck gespannt werden kann. Ausserdem bringe man die Sicherheitsventile in einem leicht sichtbaren Platze an, wo ein Ueberladen oder sonstiger Unfug nicht lange unbemerkt bleiben kann. Die Anwendung direct belasteter Ventile von guter Construction auf stationären Kesseln gewährt den Vortheil, dass dieselben nur schwer in gefährlichem Maasse überlastet werden können. Festgekeilt werden Ventile oft mit Hilfe eines Meissels, der zwischen Hebel und Führungsgabel eingetrieben wird, zuweilen thut man dies bei der hydraulischen Druckprobe, und es wird später vergessen.

Ventile setzen sich oft einzig in Folge der langen ungestörten Berührung unter bedeutendem Drucke fest; zuweilen

findet man gebogene Spindeln, festgeklemmte Führungen, entweder in Folge von ungleicher Expansion, oder durch eingeklemmte fremde Körper, die das Heben des Ventils verhindern. Ist der Hebel, Bolzen und die Gabel aus Eisen, so setzt sich der Hebel durch Rost fest, in geschlossenen Ventilen rostet die Spindel zuweilen in der Stopfbüchse ein, oder wird zu fest verpackt. Man mache deshalb den einen oder anderen dieser Theile aus Rothguss, oder was besser ist, lasse den Hebel auf Schneiden und in Pfannen arbeiten, statt einen Bolzen zu benutzen. Man vermeide den Gebrauch von zu viel Oel oder Talg am Hebel; dieselben sammeln Staub und Kohlentheile und bilden eine dicke, klebrige Masse, die die Beweglichkeit des Hebels beeinträchtigt. Man wende der Sicherheit halber stets zwei Sicherheitsventile an, von denen eins ein direct belastetes ist; geschlossene Sicherheitsventile sind deshalb nicht zu empfehlen, weil sie sich der Beobachtung entziehen, und nicht so leicht zu lüften sind, wie gewöhnliche Ventile.

In einem Kessel kommen noch andere Umstände ausser der allmäligen Ansammlung von Dampf vor, die zur Explosion führen können, trotzdem der Kessel unter gewöhnlichen Umständen hinreichend stark sein kann. Verwandelt sich der Zustand der Ruhe im Kesselinnern plötzlich in einen heftig bewegten, was durch schnelles Oeffnen oder Schliessen eines grossen Ventils verursacht werden kann, indem eine ungestüme Strömung von Dampf und Wasser entweder erzeugt oder unterbrochen wird, so ist der Anprall der Massen gegen die Theile des Kessels, die dem Ventile am nächsten liegen, unter Umständen so heftig, dass die ganze Structur erschüttert wird. Fälle sind vorgekommen, dass, wenn das Dampfventil plötzlich geöffnet wurde, der Anprall des nachströmenden Dampfes und Wassers selbst in einer Entfernung von nahe zwei Metern das Sicherheitsventil gänzlich von seinem Sitze hob.

Es sind einige Fälle bekannt, in denen Dampfkessel oder andere Heizapparate beschädigt und selbst zerstört worden sind durch die Explosion von Verbrennungsgasen im Verbrennungsraume. Gase bilden und sammeln sich unter gewissen Bedingungen durch die langsame Destillation der Kohlen, wenn der Schieber geschlossen ist. Wird nun die Feuerthür geöffnet und die Destillationsgase mischen sich mit Luft, so bedarf es nur eines Funkens, um die Explosion herbeizuführen. Harmlose Explosionen dieser Art in kleinem Maasse kommen häufig vor, und es ist schwierig zu erklären, warum heftigere

Explosionen nicht öfter auftreten. Die Erschütterung, die ein unter Druck befindlicher Kessel durch einen derartigen Vorfall erleiden kann, mag denselben derartig schwächen, dass er später schon bei gewöhnlichem Betriebsdrucke explodirt.

Es sind auch Fälle vorgekommen, dass Verbrennungsgase ihren Weg in den zur Reinigung geöffneten Kessel mit Unterfeuerung gefunden haben, und dann beim Einsteigen des Arbeiters mit der brennenden Lampe mit verderblichen Folgen explodirten.

Zuweilen explodiren zwei oder sogar mehrere neben einanderliegende Kessel gleichzeitig. Meist wird hier die Ursache die sein, dass ein Kessel in Folge von Schwäche explodirt, und dass der andere, durch die Erschütterung und herumgeworfene Materialien beschädigt, ebenfalls zerbarst. Hierher gehören auch Fälle von Explosionen von Locomotivkesseln, wenn solche durch gebrochene Pleuelstangen oder durch Zusammenstoss beschädigt worden sind. Sobald der Kesselmantel an einer Stelle einen Riss bekommt, hat der Druck einen schwachen Angriffspunkt und die gänzliche Zerstörung folgt.

Wenn ein Kessel explodirt, so bildet sich entweder ein Riss, oder ein Stück einer Blechplatte wird herausgetrieben. Der erstere Fall ist der häufiger vorkommende; jedoch wird die Art und Weise des Explodirens wesentlich von der Stärke, Eigenschaften und Anordnung des Materials, welches den Riss begrenzt, sowie von der Lage und Richtung des Risses im Kessel selbst, dem Dampfdruck, der Temperatur und der im Kessel enthaltenen Quantität Wasser und Dampf abhängen. Ist der Riss gross genug, um den Dampf leicht entweichen zu lassen, so mag die Katastrophe hiermit ein Ende nehmen, ist dies nicht der Fall, so reisst der nachströmende Dampf den Kessel weiter und vielleicht gar in Stücke.

Dieser wichtige Punkt soll noch etwas näher besprochen werden, und wollen wir zuerst den Einfluss der Lage des Risses betrachten.

Nehmen wir z. B. an, ein Mannlochdeckel auf der oberen Seite eines horizontalen Kessels würde, entweder in Folge schlechter Befestigung oder fehlerhaften Materials, durch den Dampf hinweg geblasen. Ist das Mannloch in richtiger Weise verstärkt durch einen Ring oder ein Mundstück, so wird, nachdem der Deckel gewaltsam entfernt ist, der Dampf und das im Kessel enthaltene Wasser mit grosser Heftigkeit aus

dem Mannloche ausströmen, der Kessel wird jedoch, wenn seine Unterlage solide ist, seine Lage entweder beibehalten oder sie nur wenig ändern, und der Schaden beläuft sich auf weiter nichts, als das Dach des Kesselhauses. Sollte jedoch derselbe Unfall bei einem Kessel vorkommen, bei dem das Mannloch unten liegt, so würde das Resultat ein wesentlich anderes sein und es würde von dem Gewichte des Kessels und dem darin enthaltenen Wasser, der Grösse der Ausströmnngsöffnung, dem Dampfdruck und der Entfernung der Oeffnung vom Boden abhängen, ob der Kessel einfach ein wenig aus seiner Lage gehoben, oder aber raketenartig in die Luft geschleudert werden würde. Befindet sich das Mannloch nahe am oberen Ende eines verticalen Kessels, so würde ein ähnlicher Unfall den Kessel wenigstens umwerfen, wenn er nicht ganz besonders gut und sicher gestellt ist.

Wäre in dem zuerst angenommenen Falle das Mannloch ohne alle Verstärkung, und die Kante des Bleches um das Loch herum durch Rosten oder gar Risse schon geschwächt, so würde der heftig ausströmende Dampf wahrscheinlich einen Riss vom Mannloch aus, durch die schwächsten Stellen des Kessels gehend, verursachen.

Das Resultat würde in diesem Falle eine gefährliche Explosion sein, und die einzelnen Kesseltheile würden in verschiedenen Richtungen herumgeschleudert werden.

Aehnliche Betrachtungen liessen sich nun auch für jedes beliebige plötzlich aus dem Kesselmantel gerissene Blechstück aufstellen.

Es ist leicht einzusehen, dass ein einmal entstandener Riss sich bei einem Druck fortsetzt und vergrössert, der nicht im Stande gewesen sein würde, denselben zu erzeugen, ähnlich wie ein Stück starkes Papier oder Gewebe sich reissen lässt, wenn einmal ein Anfang gemacht ist. Die Ursache für diese anscheinende Schwäche liegt darin, dass sich die wirksamen Kräfte nicht gleichmässig auf das Material vertheilen, die schwächere Stelle leidet am meisten. Sind die Kesselbleche spröde, so werden schon in Folge der Vibrationen, die durch Stösse entstehen, in Folge plötzlichen Oeffnens eines Ventils, einmal begonnene Risse sich vergrössern, ähnlich wie Glas und andere spröde Materialien beim geringsten Stosse einem einmal begonnenen Sprunge folgen.

Wenn ein oder mehrere Theile eines Kessels von den übrigen getrennt und durch den Druck gehoben und in Be-

wegung gesetzt sind, lässt es sich leicht einsehen, dass die Quantität Dampf, die sich momentan aus grossen Quantitäten sehr heissen Wassers entwickelt, dieselben auf eine beträchtliche Entfernung schleudern kann.

Die Art und Weise, in der grosse Plattentheile völlig flach gebogen sind, beweist, dass die zerstörende Kraft des Dampfes in allen Richtungen wirksam gewesen sein muss, und nicht allein in der Richtung, in welcher der Dampfstrahl zuerst ausströmte, wie von manchen Schreibern über diesen Gegenstand angenommen worden ist.

Wenn eine Platte des cylindrischen Kesselmantels längs einer Nietreihe durch die Löcher oder entlang einer Linie von geschwächtem Querschnitt, entweder durch Furchen oder Verrosten reisst, so wird es wesentlich auf die Art der Verbindung dieser Platte mit der nächst liegenden ankommen, ob sich der Riss fortpflanzt oder nicht. Tritt der Riss zuerst in einer Längsnaht, entweder durch die Nietlöcher oder dicht neben der Ueberblattung auf, so wird sich derselbe wahrscheinlich, wenn die Längsnaht sich in einer Linie über die ganze Länge erstreckt, dieser folgen, trotzdem die übrigen Bleche vielleicht hinreichend stark sein mögen. Befinden sich jedoch, wie dies auch aus anderen Gründen noch empfohlen wurde, die Längsnähte nicht alle in einer Reihe, so wird der Riss wahrscheinlich am Ende der Platte aufhören, oder sich in Folge des Druckes, der das Bestreben hat, den geschlitzten Ring flach zu biegen, entlang einer Ringnietnaht fortsetzen. Ist die zuerst gerissene Platte in einem äusseren Ringe, so werden in der anliegenden Nietnaht wahrscheinlich die Nietköpfe abspringen, ist der erste Ring ein innerer, so wird sich der Riss in dem anliegenden Ringe fortsetzen und zwar der schwächsten Linie in demselben folgen.

Betrachten wir wieder den zuerst besprochenen Fall und nehmen an, der Riss beginne in einer Platte nahe der höchsten Linie des Kessels oder wo sonst der Dampf und das Wasser hinreichend freien Ausweg finden, so mag sich der Schaden einfach auf den durch das Entleeren des Kessels verursachten belaufen, während die übrigen Theile des Kessels unverletzt bleiben. Beginnt der Riss jedoch an einer Stelle, wo die ausströmenden Dampf- und Wassermassen in directe Berührung mit einer festen Wand, wie den Zügen, kommen, oder sonst Schwierigkeiten auftreten, die das freie Ausströmen verhindern, so wird sich aller Wahrscheinlichkeit nach der Riss weiter

fortpflanzen, womöglich der Kessel in mehrere Theile zerstört und diese auf beträchtliche Entfernungen geschleudert werden.

Die Ursachen von Rissen sind schon im neunten Capitel besprochen worden, dieselben treten am häufigsten bei Kesseln mit Unterfeuerung, und zwar in der Nähe des Feuers, also an der Unterseite des Kessels auf. Ist nun der Kessel schwer und gefüllt, so vergrössert sich schon in Folge des Eigengewichtes der Riss, der eine Theil des Kessels hebt sich, während der leichtere meist um eine beträchtliche Entfernung in der Längsaxe fortgeschleudert wird.

Der Mangel an Ankern, die die Enden besonders solcher Kessel verbinden, die Unterfeuerung haben, vergrössert die Gefahr falls ein Riss in dem Umfange entstehen sollte, weil sich dann die Enden um so leichter von einander entfernen können.

Ist das Gewicht des Kessels nebst Inhalt im Verhältniss zum Dampfdruck gering, so wird zuweilen der ganze Kessel in die Höhe geschleudert und zerreisst in Folge der Expansion des Dampfes in mehrere Stücke, die dann in verschiedenen Richtungen auf die Erde zurückfallen.

Kurze Risse kommen zuweilen vor, durch die sich der Dampfdruck allmälig verringert, ohne den Kessel aus seiner Lage zu bringen, jedoch treten diese nur unter besonderen Verhältnissen auf. Ist der Kessel noch heiss, wenn man ihn mit kaltem Wasser füllt, so entsteht zuweilen ein kleiner Riss in Folge der plötzlichen Contraction. Wird nun dieser nicht bemerkt und der Kessel angeheizt, so erweitert sich der Riss in dem Verhältniss wie der Druck steigt, und der Kessel entleert sich ohne heftige Explosion. Es sind sogar Fälle vorgekommen, dass solche Risse in den Nietnähten in Folge der Contraction gross genug waren, alles zum Speisen des Kessels eingepumpte Wasser so schnell entweichen zu lassen, als es einlief.

Wird ein horizontales Flammenrohr auf seiner ganzen Länge eingedrückt, ohne einen bedeutenden Riss zu erleiden, so vermindert sich der Dampfdruck im Kessel meist durch die mehr oder weniger undicht gewordenen Nietnähte oder auch kleine Risse. Geschieht dies Zusammendrücken des Rohres plötzlich, so mag wohl eine starke Erschütterung der Luft stattfinden, jedoch ohne wirkliche Explosion, und der äussere Kesselmantel bleibt unversehrt. Entsteht aber beim Zusammendrücken des Rohres in diesem ein bedeutender Riss, ohne dass

sich das Rohr geradezu theilt, so sind die Resultate, verursacht durch die heftige Ausströmung von Dampf und Wasser, oft sehr gefährlich. Tritt die Strömung hauptsächlich nach hinten, so wird oft durch den Rückschlag der Kessel nach vorn geschleudert, während umgekehrt, wenn der Kessel hinten gegen eine solide Wand gesetzt und das Wasser nach vorn schiesst, schon hierdurch, selbst wenn der Kessel in seiner Lage beharrt, alle Uebel und Gefahren einer wirklichen Explosion auftreten können.

Zerreisst beim Zusammendrücken das Rohr völlig, wodurch seine Wirksamkeit als Anker in der Längsrichtung aufhört, so werden eine oder beide Kopfplatten durch den Dampfdruck herausgerissen, zuweilen mit einem Theil des Mantels und Rohres, oder wo die Kopfplatten nicht sehr fest mit dem Mantel verankert sind, reisst die Platte auch wohl selbst.

Die Zerstörung der Feuerkastendecke in Locomotiv- und das Reissen der Stirnplatte in verticalen Kesseln, sowie Risse am unteren Ende des Feuerkastens nahe am Roste führen oft durch die mit grosser Gewalt nach unten getriebenen Wassermassen zu sehr gefährlichen Explosionen, bei denen der Kessel in den meisten Fällen in die Höhe geschleudert wird.

Untersucht man die Ursache einer complicirten Kesselexplosion, so notire man zuerst vorsichtig die Gewichte, Lagen, Formen und sonstigen Eigenthümlichkeiten der zersprengten Stücke, beachte die Richtung, in der sie vom Kessel geschleudert wurden, sehe nach allen Armaturentheilen, der Art der Verankerung, sowie der Verstärkung von Mannlöchern, Dampfdomen, Rohren und Verbrennungsräumen. Wo irgend möglich, stelle man die ursprüngliche Form der verschiedenen Theile des Mantels, der Rohre, Endplatten u. s. w. fest, und suche dann festzustellen, wo der Riss seinen Ursprung nahm. In vielen Fällen giebt die Richtung, in der die schwereren Theile geschleudert wurden, hierfür einen Anhalt. Sobald ein Bruch stattfindet, werden die leichteren Blechtheile, die losgerissen sind, in der Richtung des ausströmenden Dampfes mitgeschleudert werden, während die schwereren Theile durch den Rückschlag in der entgegengesetzten Richtung fortgetrieben werden.

Dass dies jedoch nicht in allen Fällen stichhaltig sein kann, ist wohl leicht einzusehen. Zuweilen wird ein Kessel in Folge einer Explosion völlig umgekehrt, Stücke hängen eine Zeit lang am Kessel fest und werden öfters später in einer gänzlich geänderten Richtung fortgerissen.

Alle Kanten der Bleche und Winkeleisen in der Bruchlinie

sind vorsichtig zu untersuchen, damit etwaige schwache Stellen, Verdünnung der Bleche durch Rosten oder Furchen auf der inneren oder äusseren Seite, geschwächte und zerstörte Nietköpfe, fehlerhafte Nietlöcher, unzureichende Ueberblattung, alte blättrige Stellen oder Brüche, aufgesetzte Flicken und andere Zeichen von Reparaturen, Andeutungen von Erweichung oder Ermattung durch Ueberhitzen, der Zustand der Wasserstandsapparate, Sicherheits- und Absperrventile, entdeckt und ans Licht gebracht werden, weil alle diese über den Ursprung der Explosion Andeutungen geben können.

Ein vorsichtiger Vergleich der Nietköpfe, der Blechplatten und der Anordnung der Nietnähte wird meist zur Entdeckung von Reparaturen führen, die auf den ersten Blick nicht bemerkbar waren. Die Farbe und das sonstige Aussehen der Bruchstellen, ob dieselben faserig oder krystallinisch erscheinen, werden darüber Auskunft geben, ob der Bruch alt oder frisch, und wie er möglicherweise entstanden ist.

Das Ueberhitzen der Platten, verursacht durch Wassermangel, zeigt sich gewöhnlich durch gebogene und ausgewölbte Bleche, das Abspringen des Kesselsteines auf der inneren und Verbrennen des Russes auf der äusseren Seite durch leckende Nietnähte, geschmolzene Compositionsplatten und Pfropfen, und in Flammenrohren mit innerer Feuerung zuweilen durch wellenartige Wulste im Rohrumfange, welche sich durch die bedeutende Ausdehnung des Rohres an dieser Stelle bilden.

Es kommt sehr selten vor, dass Kessel mit äusserer Feuerung, d. h. Unterfeuerung in Folge von Wassermangel, explodiren, trotzdem man diesem Umstande sehr häufig die Schuld beigemessen hat. Es ist sogar lange Zeit Mode gewesen, alle Arten Kesselexplosionen durch Wassermangel zu erklären; dass dies jedoch nur eine leichte und einfache Methode ist, die Verantwortlichkeit für den Unfall vom Kesselfabrikanten und Besitzer abzuwälzen und auf den unglücklichen Kesselwärter zu schieben, der, wenn bei der Explosion nicht getödtet, in vielen Fällen doch als Vertheidiger seiner selbst nicht viel besser wie todt ist, beweisen die Unzahl von Explosionen, die sich mit grösster Gewissheit auf fahrlässige Construction, schlechte Materialien oder andere Umstände zurückführen liessen, die gänzlich ausser dem Bereiche des unglücklichen Kesselwärters liegen.

Kessel mit innerer Feuerung explodiren dagegen häufig in Folge von Wassermangel.

Einer oder mehrere der oben angegebenen Umstände wird sich in den meisten Fällen als die Ursache einer Explosion feststellen lassen, die schon bei der gewöhnlichen Betriebsspannung stattgefunden haben kann. Lässt sich jedoch keiner dieser Zustände auf den fraglichen Fall anwenden, und ist die berechnete Stärke des Kessels ausreichend für die Betriebsspannung und die, bei welcher das Sicherheitsventil abbläst, so müssen das Sicherheitsventil selbst in allen Theilen, Hebel, Drehpunkt, Ventilkegel, Gewichte, die dasselbe mit dem Kessel verbindenden Rohre noch weiter vorsichtig untersucht, und die Stärke des Materials nahe an der Bruchstelle durch directe Experimente festgestellt werden. Die Richtigkeit des Ablasens des Ventils bei dem bestimmten Druck ist durch Nachrechnung des Gewichtes und Hebels zu untersuchen, das Manometer, wenn nicht zerstört, zu prüfen, und alle anderen Punkte, die in besonderen Fällen Licht auf die Ursache werfen könnten, müssen aufs Vorsichtigste berücksichtigt werden.

Es giebt noch immer Viele, welche daran festhalten, dass sich die Heftigkeit mancher Explosionen unmöglich durch eine sich allmälig steigernde Spannung erklären lasse, und Theorien tauchen noch immer wieder hier und da auf, die den Betreffenden besser geeignet scheinen, die ungeheure Kraft zu erklären, welche augenscheinlich wirksam gewesen sein muss.

Versuchen wir die Ursache einer Kesselexplosion durch irgend einen möglichen Umstand zu erklären, so müssen wir im Stande sein zu beweisen: 1. dass der Umstand in dem besonderen Falle existiren konnte; 2. dass derselbe im Stande sein würde, die vorliegenden Resultate herbeizuführen; und 3. dass kein anderer bekannter Umstand wirksam gewesen sein kann.

Prüfen wir an diesem Maassstabe einmal allgemein das Vorkommen einer Explosion, so wissen wir, dass Ueberdruck häufig in einem Kessel stattfindet, und dass derselbe unerwartet und unbemerkt stattfinden kann. Dass der Ueberdruck im Stande ist, die bei Explosionen auftretenden heftigen Resultate zu erzeugen, ist theoretisch und praktisch nachgewiesen worden.

Es ist von Professor Airy bewiesen, dass ein Cubikmeter Wasser in einem Dampfkessel, welcher mit 4 Atmosphären Ueberdruck arbeitet, an zerstörender Kraft 15 Kilo Schiesspulver gleichkommt, und die Experimente im Franklin-Institute haben bewiesen, dass allmälig angehäufte Dampfspannung

eine sehr heftige Explosion in einem schmiedeeisernen Dampfkessel gewöhnlicher Construction hervorbringen kann.

Dass ähnliche Resultate durch andere Ursachen hervorgebracht werden können, soll nicht bestritten werden, Gefässe, die mit comprimirter Luft oder Gasen gefüllt waren, sind oft mit furchtbarer Gewalt zersört worden, vergleicht man jedoch die gewöhnlichen Resultate einer Kesselexplosion mit denen in Folge explosiver Gase oder anderer explodirbarer Stoffe, so finden wir entschieden Unterschiede. Bei einer Kesselexplosion zeigen sich stets die Resultate einer sich entwickelnden Kraft und nicht, wie bei explodirbaren Stoffen, das gänzliche Zertrümmern der Theile, welche den ersten Anprall auszuhalten hatten.

Trotzdem ohne Zweifel bei einer Kesselexplosion das Zerreissen der Theile schnell vor sich geht, ist die Wirkung des Dampfes doch keine momentane, und die gewissermaassen allmälige Entwickelung der Kraft aus einem grossen Volumen sehr hoch erhitzten Wassers unterhält eine treibende und zerstörende Kraft für längere Zeit, die mehr die Wirkung hat, die Stücke auf eine bedeutende Entfernung zu schleudern, als dieselben in kleine Theile zu zerschmettern, wie eine mehr momentan wirksame Kraft.

Es ist längst bekannt, dass ein Dampfstrom zuweilen elektrische Eigenschaften zeigt. Die Erfindung der Armstrong'schen Dampf-Elektrisirmaschine ward durch den Umstand herbeigeführt, dass ein Arbeiter einen elektrischen Schlag fühlte, als er mit einer Hand das Sicherheitsventil eines Kessels berührte, während der aus diesem Ventile ausströmende Dampf gegen seine andere Hand blies. Faraday, der diese Angelegenheit in die Hand nahm, bewies, dass die Erzeugung von Elektricität einzig durch die Reibung der im Dampf suspendirten Wassertheilchen gegen die Ausströmungsöffnung verursacht wurde, und dass dieselbe nicht etwa in Folge einer Umwandlung des Wassers im Kessel selbst entstanden sein könnte. Er wies ferner nach, dass dasselbe Resultat mittelst eines feuchten Luftstromes erreicht werden kann, dass Elektricität jedoch weder durch einen trockenen Dampf noch trockenen Luftstrom erzeugt wird. Zugegeben, dass die Anwesenheit von Elektricität in einem Kessel nicht unmöglich ist, so bleibt immerhin noch zu beweisen, dass dieselbe in einer hohen Spannung sich ansammeln kann, und ferner, wie im letzteren Falle durch die Elek-

tricität eine Explosion mit den bekannten Folgen verursacht werden könnte.

Es kann ferner nicht geleugnet werden, dass eine geringe Quantität Dampf sich in einem Kessel zersetzen könnte, wenn durch irgend welchen Zufall der Dampf mit rothglühenden Platten in Berührung kommt, dass diese Zersetzung jedoch bei oxydirten Blechen innerhalb eines Kessels in einigermaassen grossen Quantitäten stattfinden könnte, ist geradezu unmöglich.

Angenommen selbst, Sauerstoff würde mit dem Speisewasser in den Kessel eingeführt, und die Entzündung könnte entweder durch rothglühende Bleche oder durch einen elektrischen Funken herbeigeführt werden, so bleibt es immer noch ein Räthsel, wie die Gase bei einem so grossen Uebermaass an Dampf sich innig genug mischen können, um explodirbar zu sein. Könnte selbst fast aller Dampf im Kessel zersetzt werden, so würde doch der Wasserstoff im Augenblicke des Freiwerdens mit ruhiger Flamme, an der rothglühenden Platte entzündet, verbrennen und die Wahrscheinlichkeit einer Explosion ist eine sehr geringe.

Was nun die Ueberhitzungstheorie anbetrifft, so wird für diese gewöhnlich etwa folgender Gang der Dinge angenommen. Durch zu niedrigen Wasserstand erhitzen sich die Bleche im hohen Grade und der im Kessel enthaltene Dampf kann in Folge dessen sehr bedeutend überhitzt werden. Indem nun das Wasser selbst durch die Bewegung im Kessel mit den heissen Wänden in Berührung kommt, wird eine grosse Quantität Dampf plötzlich entwickelt, und der Druck steigt höher als es der Zustand des Kessels erlaubt. Dass solche Zustände eintreten können, dass der Dampf an den überhitzten Blechen Wärme aufnehmen und ein beträchtlicher Theil des Wassers ebenfalls plötzlich in Dampf übergeführt werden kann, lässt sich nicht bestreiten, jedoch ist durch Experimente, die vom Ober-Ingenieur des Manchester-Vereins für Kesselbesitzer Herrn Fletcher bewiesen worden, dass selbst wenn Wasser mit rothglühenden Platten in Berührung kommt, so ist die gebildete Quantität Dampf unter gewöhnlichen, im Dampfkessel existirenden Umständen und bei einem hinreichenden Sicherheitscoefficienten nicht im Stande, eine Explosion herbeizuführen. Ausserdem entstehen auch in Nietnähten, wenn dieselben heiss, plötzlich mit Wasser in Berührung kommen, stets Lecke, welche eine zu plötzliche Ansammlung von Dampf ebenfalls verhindern.

Explosionen in Folge von Ueberhitzung der Bleche werden eher dadurch zu erklären sein, dass die Bleche weich werden und schon dem gewöhnlichen Dampfdrucke zu widerstehen unfähig sind, oder auch durch die plötzliche Contraction, die entsteht, wenn rothwarme Bleche mit Wasser in Berührung kommen. Ueber eine gewisse Quantität hinaus wird sich um so weniger Dampf entwickeln, je mehr Wasser auf einmal mit den heissen Platten in Berührung kommt. Trotzdem im Vorhergehenden die Wahrscheinlichkeit einer heftigen Explosion in Folge geringen Ueberhitzens der Bleche über der Wasserlinie anscheinend als nur gering hingestellt worden ist, so vergesse man doch nicht, was bereits früher über überhitzte Bleche und deren Folgen gesagt wurde, und hüte sich nach besten Kräften vor überhitzten Blechen. Die Gefahr selbst bei geringem Ueberhitzen dem Kessel empfindlich zu schaden, ist im neunten Capitel schon so ausführlich besprochen worden, dass es unnöthig ist, hier noch einmal darauf zurückzukommen, und die vorgehenden Bemerkungen in diesem Abschnitte beziehen sich einzig auf die directen Ursachen von Explosionen.

Zuweilen ist auch das sogenannte Leidenfrost'sche Phänomen als Ursache von Kesselexplosionen angegeben worden. Es ist dies die Eigenschaft kleiner Wassermengen, wenn auf glühende Metallplatten geworfen, die Kugelgestalt anzunehmen und nur im geringen Maasse zu verdampfen, sobald aber die Temperatur der Platte sich verringert, plötzlich mit einem Knall in Dampfform überzugehen. Die Umstände, unter welchen diese Erscheinung erzeugt werden kann, und die im Dampfkessel sind jedoch so wesentlich von einander verschieden, und ist es kaum erklärlich, wie ein mit kaltem Wasser gefüllter und allmälig erwärmter Kessel solche Erscheinung möglich machen kann, dass es wohl am besten ist, diesen Umstand als eine mögliche Ursache für Kesselexplosionen zu streichen. In Kesseln, die mit unreinem, fettigem Wasser gespeist werden, hat man zuweilen kurz vor dem Zusammendrücken von Flammenrohren in der Nähe des Feuerrostes Knalle wie von geringen Explosionen vernommen und diese durch die Explosion von Wassertheilen, die sich im Sphäroidalzustande befanden, erklärt, es fehlt hier jedoch an einem der Factoren, der Erniedrigung der Temperatur, welche die plötzliche Explosion erzeugen könnte, und überhaupt fehlt es an Beweisen, dass ein solcher Zustand in einem überhitzten Kessel unter gewöhnlichen Umständen stattfinden könnte, und

selbst wenn dies der Fall wäre, dass dieselben im Stande wären, eine Explosion herbeizuführen.

Es ist schon früher erwähnt worden, dass die Neigung unreinen und fettigen Wassers sich der Dampfentwickelung zu widersetzen und die Platten nicht direct zu berühren, oder um es bei demselben Namen zu nennen, in den Sphäroidalzustand überzugehen, eher als die Ursache der Ueberhitzung der Blechplatten anzusehen ist, und nicht als die Folge.

Entfernt man aus einer Quantität Wasser die Luft und erwärmt dasselbe nun sehr vorsichtig und ohne jede Erschütterung, so kann man dasselbe bis zu 140° oder 145° C. erhitzen, ohne dass sich die geringste Dampfbildung zeigte; sobald das Wasser in diesem überhitzten Zustande jedoch gestört wird, bildet sich plötzlich eine grosse, der Temperatur entsprechende Quantität Dampf. Denken wir uns einen ähnlichen Zustand in einem unter Druck befindlichen Dampfkessel, der einige Zeit bei geschlossenen Ventilen still gelegen hat, so würde sich beim plötzlichen Oeffnen eines Ventils der auf dem Wasser lastende Druck verringern, und der sich in grossen Massen bildende Dampf würde eine bedeutende Wassermasse mit sich in die Höhe reissen, die mit nicht geringer Gewalt gegen den oberen Kesseltheil anprallen würde. Hierdurch erklären sich sehr wahrscheinlich die Stösse, die man zuweilen fühlt, wenn man bei einem plötzlichen Dampfabzug vom Kessel, beim Anlassen einer Maschine oder dergleichen oben auf dem Kessel steht. Es ist sogar möglich, dass unter gewissen Umständen der Druck im Kessel höher steigen kann, als der Druck, für den die Ventile belastet sind, und dass diese in Folge dessen abblasen, und dies verbunden mit dem Stoss des anprallenden Wassers mag die Zerstörung eines schwachen Kessels herbeizuführen im Stande sein, ein Kessel, der, in gutem Zustande befindlich, einen hinreichenden Sicherheitscoefficienten besitzt, wird dieser Gefahr jedoch nicht ausgesetzt sein.

Die beliebte Mode, Dampfkesselexplosionen auf obscure Ursachen, womöglich solche zu schieben, die ausserhalb der menschlichen Kräfte liegen, hat sicher schon zu vielen Unfällen Veranlassung gegeben. Besitzer und Heizer werden dadurch in einen Zustand der Nachlässigkeit und Unachtsamkeit versetzt, weil es ja doch nicht in ihrer Kraft liegt, die Explosion zu verhüten, wenn solche mysteriöse Kräfte in demselben wirksam sind. Man schärfe im Gegentheil dem Kesselwärter so

viel wie möglich ein, und bringe ihn zur völligen Ueberzeugung, dass es vorzugsweise von seiner Achtsamkeit und Aufmerksamkeit zu allen Zeiten abhängt, ob eine Explosion zu befürchten ist oder nicht.

Betrachtet man die fahrlässige Behandlung und schlechte Wartung, die viele Kessel Jahr aus Jahr ein zu ertragen haben, und vergleicht damit die grosse Zahl der wirklich gefährlichen Zustände, die fast täglich von geschulten Inspectoren an Dampfkesseln entdeckt werden, so bleibt eigentlich nur ein Räthsel zu lösen übrig, wie ist es erklärlich, dass so viele Dampfkessel der Explosion entgehen, und nicht, was ist die Ursache der Explosion, nachdem solche stattgefunden hat.

Wie wenig wirklich praktisch gebildete Kesselinspectoren an mysteriöse Ursachen für Explosionen glauben, und wie dieselben etwaige Unfälle meist auf einfache Ursachen zurückzuführen wissen, beweisen die jährlichen Berichte, die selten oder nie einen Zweifel über einen oder den anderen Unfall offen lassen.

Häufig findet man, dass Kesselbesitzer nach einer stattgehabten Explosion durchaus nicht geneigt sind, den untersuchenden Inspectoren alle die Erleichterungen zu verschaffen, die wohl wünschenswerth sein könnten. Da wird mit allen denkbaren Sachen zurückgehalten, er braucht dies und jenes nicht zu wissen, heisst es, da wir ihm nicht verwehren können, die Sache zu untersuchen, so müssen wir ihn schon thun lassen, was ihm gut dünkt, aber von uns soll er nichts erfahren. Dass derartige Gedanken meist aus der Furcht erwachsen, für den Unfall verantwortlich gemacht zu werden, ist klar, dass dieselben vom Standpunkte der allgemeinen Humanität niedrig sind, selbstverständlich, und wenn die Betreffenden nur immer davon überzeugt werden könnten, dass es oft ihr eigener Vortheil sein würde, alle etwa bekannten Umstände mitzutheilen, so würde es weit leichter sein, die wirklichen Ursachen festzustellen.

Dreizehntes Capitel.

Verbrennung von Kohlen.

Unter Verbrennung versteht man diejenige chemische Verbindung eines Körpers mit Sauerstoff, die unter Licht- und Wärmeentwickelung vor sich geht. Die Verbrennung, welche auf dem Herde unserer Oefen, dem Roste unserer Kessel und in unseren Beleuchtungsapparaten stattfindet, ist die Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff mit dem Sauerstoff der Luft.

Kohlenstoff und Wasserstoff sind in unseren Brennmaterialien und Leuchtmaterialien enthalten, und wenn dieselben hinreichend vorgewärmt sind, so verbinden sie sich mit dem Sauerstoff der Luft, während Stickstoff frei wird. Für den Anfang oder die Einleitung dieses Oxydationsprocesses ist es nothwendig, durch eine andere Quelle Wärme zu erzeugen, sobald derselbe jedoch begonnen, erzeugt sich durch die Verbrennung hinreichende Wärme, um den Process zu unterhalten.

Die Wärmemenge, die durch die Verbrennung verschiedener Körper erzeugt wird, ist für die meisten Körper annähernd durch Experimente festgestellt worden, und als Vergleichungsmaassstab dient die Zahl, welche angiebt, wie viele Kilogramm Wasser durch ein Kilo des Brennmaterials um 1^0 C. erwärmt werden. Als Maasseinheit dient die Wärmemenge, die erforderlich ist, um ein Kilo Wasser von seiner grössten Dichte, bei 4^0 C. um einen Grad zu erwärmen, man nennt dieselbe eine Wärmeeinheit.

Alle Körper verbinden sich nun in gewissen Proportionen, sowohl dem Gewichte als dem Volumen nach, und diese werden die chemischen Aequivalente genannt. In umstehender Tabelle

sind die Atomgewichte derjenigen verschiedenen Elemente und zusammengesetzten Körper angegeben, mit welchen wir in diesem Capitel zu thun haben. In atmosphärischer Luft sind die beiden Bestandtheile, Sauerstoff und Stickstoff, nicht chemisch gebunden, sondern nur mechanisch gemischt. Kohlensäure bildet sich nicht direct, sondern aus der Verbindung von Kohlenoxydgas mit Sauerstoff.

Chemische und physikalische Eigenschaften der Elemente, und deren Verbrennungsproducte.

	Zeichen	Atomgewicht	Specif. Wärme	Specif. Gewicht	Gewicht pro Liter in Grammen	Literinhalt pro Gramm
Sauerstoff	O	16	0,218	1,106	1,430	0,700
Stickstoff	N	14	0,244	0,971	1,257	0,795
Wasserstoff	H	1	3,405	0,069	0,089	11,230
Kohlenstoff (gasförmig) . . .	C	12	—	—	—	—
Schwefel (gasförmig)	S	32	—	—	—	—
Luft (Atm).	N_4O	72	0,2377	1,000	1,293	0,773
Wasser	H_2O	18	1,00	819,40	1000,0	0,001
Kohlensäure	CO_2	44	0,216	1,529	1,977	0,506
Kohlenoxyd	CO	28	0,245	0,967	1,250	0,800
Oelgas	C_2H_4	28	0,404	0,978	1,265	0,790
Sumpfgas	CH_4	16	0,593	0,554	0,716	1,396
Wasserdampf . . .	H_2O	18	0,480	0,622	0,804	1,244
Schweflige Säure . .	SO_2	64	0,155	2,247	2,861	0,349
	1	2	3	4	5	6

Das Volumen eines gegebenen Gewichtes irgend eines Gases bei constantem Drucke kann leicht mit Hilfe der Zahlen in Spalte 6 berechnet werden. Es sei V das Volumen eines gewissen Gewichtes eines Gases bei 0^0 C. und V' das Volumen desselben Gases bei t'^0, so ist $V^1 = V(1 + 0{,}00367\,t')$. Die

Ausdehnungscoëfficienten für verschiedene Gase variiren nur wenig und für alle hier vorkommenden liegen sie zwischen 0,00367 und 0,00371 mit Ausnahme der schwefligen Säure, für die der Ausdehnungscoëfficient 0,003903 beträgt.

Der Kohlenstoff, der Hauptbestandtheil von Coaks und Kohle, verbindet sich mit dem Sauerstoff in zwei Verhältnissen, und zwar je nach der Intensität der Verbrennung bildet sich C O, Kohlenoxyd, oder CO^2, Kohlensäure. In letzterem Falle besteht die Verbindung aus einem Atomgewichte Kohlenstoff und zwei Atomgewichten Sauerstoff, oder da O = 16 und C = 12, so ist in dieser Verbindung 1 Kilo Kohlenstoff mit $2^2/_3$ Kilo Sauerstoff zu $3^2/_3$ Kilo Kohlensäure verbunden. Der in der Kohle feste Kohlenstoff geht während der Verbrennung in den gasförmigen Zustand über. Das Volumen des so gebildeten Gases ist gleich dem Volumen der $2^2/_3$ Kilo Sauerstoff, und die gebildete Wärmemenge beträgt nach der Tabelle auf Seite 298 8080 Wärmeeinheiten. Dieselbe Wärmemenge würde jedes Kilo auf dem Roste verbrannten Kohlenstoffes liefern, wenn die Verbrennung eine vollkommene wäre; ist jedoch die Schicht von Kohle oder Koks auf dem Roste dick, im Verhältniss zu dem durch den Rost zugeführten Luftquantum, so wird sich ein Theil des Sauerstoffs der Kohlensäure mit einem anderen Theile Kohlenstoffs verbinden, und $4^2/_3$ Kilo Kohlenoxydgas bilden. Hierdurch verdoppelt sich jedoch das Volumen des Verbrennungsgases, und ein bedeutender Theil der Wärme wird gebunden und zur Volumenvergrösserung sowohl als zur Ueberführung des Kohlenstoffs in den gasartigen Zustand verwandt. Die erzeugte Wärme ist nun nur die, durch Verbrennung von zwei Kilo Kohlenstoff zu Kohlenoxydgas, also 4948, wir haben hier also einen Verlust von 3132 Wärmeeinheiten. Bleibt der Verbrennungsprocess auf diesem Standpunkte stehen, so würde der grosse Verlust an freier Wärme eine bedeutende Brennmaterialverschwendung verursachen. Würde jedoch nun diesem Gasvolumen eine hinreichende Quantität Sauerstoff zugeführt, so werden sich die $4^2/_3$ Kilo Kohlenoxyd mit weiteren $2^2/_3$ Kilo Sauerstoff zu $7^1/_3$ Kilo Kohlensäure verbinden. Das Volumen der so gebildeten Gase ist auf das Volumen von $5^1/_3$ Kilo Sauerstoff reducirt, und die früher gebundenen 3132 Wärmeeinheiten werden frei, so dass demnach die nun entwickelte Wärmemenge in Folge der Verbrennung von 2 Kilo Kohlenstoff zu Kohlensäure gleich 16160 Wärmeeinheiten ist.

Theoretische Verbrennungswärme verschiedener Stoffe und deren Bestandtheile *).

Name des Brennstoffes.	Chemische Zusammensetzung C	H	O	Kilo Sauerstoff, welche für die Verbrennung von 1 Kilo Gas erforderlich sind	Kilo Luft, welche für die Verbrennung von 1 Kilo Gas erforderlich sind	Totale Verbrennungswärme in Wärmeeinheiten	Relative Heizkraft der Materialien auf C zu CO_2 verbrannt bezogen	Quantität des verdampften Wassers von 100^0 in Kilo pro Kilo Brennmaterial
Wasserstoff	—	100	0	8	36	34462	427	64,2
Sumpfgas	75	25	—	4	18	13063	164	24,3
Oelgas	86	14	—	3,43	15,43	11857	147	22,1
Kohlenstoff zu CO_2 verbrannt	100	—	—	2,67	12	8080	100	15,0
Kohlenstoff zu CO verbrannt	100	—	—	1,33	6	2474	30	4,5
Kohlenoxydgas	43	—	57	0,55	2,55	2403	29	4,4
Verschiedene Brennmaterialien im Durchschnitte: Kohlen; Welsche	83,8	4,8	4,1		Im Durchschnitt 11,6 **)	8233	102	15,3
„ Newcastel	82,1	5,3	5,7			8183	102	15,3
„ Schottische	78,5	5,6	9,7			7589	94	14,1
„ Derbyshire	79,5	4,9	10,1			7637	95	14,2
„ Lancashire	77,9	5,3	9,5			7442	93	13,9
Koks	94	0,04	0,7			7595	94	14,1
Torf (trocken)	60	6	31		9,4	5517	68	10,0
Holz	50	6	41		6,7	4368	54	7,9
Schwefel	—	—	—			2237	28	4,2

*) Nach W. Stein kann die praktische Nutzleistung der Steinkohlen zu $^2/_3$ der theoretischen, aus der chemischen Zusammensetzung berechneten, angenommen werden.

**) In der Praxis sind die theoretischen Luftmengen mindestens zu verdoppeln, wenn die Verbrennung vollständig sein soll.

Da die absolute Wärme des Dampfes von atmosphärischem Druck gleich 637 ist, so müsste ein Kilo Kohlenstoff $\frac{8080}{637} = 12{,}7$ Kilo Wasser von 0^0 in Dampf von 100^0 verwandeln können.

Diese Zahl setzt vollständige Verbrennung und vollkommene Ausnutzung aller entwickelten Wärme voraus. Die besten praktischen Resultate bleiben jedoch bedeutend hinter diesem theoretischen Resultate zurück, in Locomotivkesseln die noch jetzt zuweilen nur besten Coaks, der fast gänzlich aus Kohlenstoff besteht, verbrennen, ist trotzdem das Maximum des pro Kilo Coaks verdampften Wassers von 0^0 nur zu 9,5 Kilo anzunehmen, dies repräsentirt einen Verlust von 25 Proc., dessen Ursache später gegeben werden wird.

Wasserstoff tritt in unseren Verbrennungsräumen nicht frei, sondern meist in geringen Quantitäten an Kohlenstoff gebunden auf, die Wasserstoff enthaltenden Verbindungen sind Pech, Theer, Oelgas und andere, die durch Destillation der Kohle entstehen.

Zwei Atomgewichte Wasserstoff (H_2) verbinden sich mit einem Atomgewichte Sauerstoff (O_{16}) oder 1 Kilo des ersteren mit 8 Kilo des letzteren zu 9 Kilo Wasser, das als Wasserdampf mit den übrigen Gasen abzieht. Die hier gebundene Quantität Sauerstoff ist dreimal so gross als bei der Verbindung mit Kohlenstoff zu Kohlensäure. Dem Volumen nach verbinden sich 2 Volumen H mit 1 Volumen O zu 2 Volumen H_2O. Bei der Verbrennung von 1 Kilo Wasserstoff bilden sich 34462 Wärmeeinheiten. Ein Kilo Wasserstoff ist demnach im Stande, $\frac{34462}{637} = 54{,}1$ Kilo Wasser von 0^0 in Dampf von 100^0 zu verwandeln.

Wenn Sauerstoff und Wasserstoff im Brennmaterial in dem Verhältnisse vorhanden sind, dass sie Wasser bilden, so verbinden sie sich auch zu Wasser und vergrössern die Verbrennungswärme nicht, sondern verringern dieselbe sogar in Verbindung mit anderem etwa vorhandenen Wasser, indem sie eine grosse Wärmemenge bei ihrem Uebergange in Dampfform binden. Berechnen wir demnach die Heizkraft des in einem Brennmaterial gleichzeitig mit Sauerstoff auftretenden Wasserstoffes, so müssen wir zuerst je 1 Gewichtstheil Wasserstoff für je 8 Gewichtstheile Sauerstoff abziehen, und

dürfen nur den überschüssigen Wasserstoff als Heizmaterial in Rechnung bringen.

Die in den Kohlen enthaltenen Kohlenwasserstoffe werden durch den Einfluss der Wärme zuerst gasförmig, ein Zustand, der eintreten muss, ehe dieselben verbrennen können; je mehr dieser leicht entzündlichen Gase eine Kohle enthält, mit um so lebhafterer Flamme brennt dieselbe.

Die Steinkohle.

Die verschiedenen Kohlensorten, die man in nicht bituminöse oder Anthracite, wenig bituminöse oder anthracitartige, halbbituminöse und bituminöse eintheilen kann, und deren chemische Analysen in beifolgender Tabelle gegeben sind, lassen sich schon in ihrem Aeusseren unterscheiden, jedoch ist es schwer oder in manchen Fällen geradezu unmöglich, die verschiedenen Varietäten jeder Art nach der Farbe, dem Glanz auf der Bruchfläche, der Spaltbarkeit und anderen Eigenschaften erkennen zu können.

Die Anthracitkohle, eine harte, steinartige Kohle, die im südlichen Wales in England und im grossen Kohlenbecken Pensilvaniens vorkommt, ist ein völlig unkrystallinischer Körper; sie ist tief schwarz, spröde, von muschligem, glänzendem Bruch, und ist als das vollendeste Product des Zersetzungsprocesses, durch welchen Kohle gebildet worden ist, anzusehen. Dieselbe brennt schwer, verlangt starken Zug, hohe Temperatur und beträchtliche Wartung. Wenn trocken brennt der Anthracit ohne Flamme und Rauch, ähnlich wie Koks, da derselbe keine Kohlenwasserstoffe enthält, und trotzdem er sehr bedeutende locale Wärme entwickelt, eignet er sich nicht gut zur Dampferzeugung, und findet deshalb nur wenig Anwendung zu diesem Zwecke.

Die wenig bituminösen oder anthracitischen Kohlen, zu denen ein bedeutender Theil der welschen Kohlen und der westphälischen Esskohlen zu rechnen sind, enthalten geringe Mengen Kohlenwasserstoffe und sind für viele Kessel die besten Dampfkohlen. Als Beweis hierfür kann der Umstand dienen, dass dieselben für Marinezwecke trotz ihres hohen Preises fast ausschliesslich Anwendung finden. Diese Kohlen brennen gut, meist mit kurzer Flamme und bedürfen nicht sonderlich vorsichtiger Wartung. Sie schwellen im Feuer auf

Chemische Zusammensetzung verschiedener Kohlen und Coake.

	Anthracit	Wenig bituminöse Kohle	Semi bituminöse Kohlen				Bituminöse Kohlen		
	ohne Rauch	Beste Dampfkohle, wenig Rauch	Beste Dampfkohle, viel Rauch	Für Koksbrennen	Dampfkohle, viel Rauch	Dampfkohle, viel Rauch	Gaskohle	Boghead-Cannelgaskohle	Coake
Kohlenstoff	92,3	88,3	82,4	86,8	82,6	80,1	80,1	63,1	93,2
Wasserstoff	3,0	4,7	5,4	5,0	5,9	6,5	5,5	8,9	0,7
Sauerstoff	2,6	0,6	6,4	5,2	7,4	8,0	8,1	7,0	0,9
Stickstoff	0,6	1,4	1,6	1,0	1,8	1,6	2,1	0,2	1,3
Schwefel	—	1,8	1,3	0,9	0,8	1,4	1,5	1,0	—
Asche	1,5	3,2	2,9	1,1	1,5	2,4	2,7	19,8	3,9
Summa . .	100	100	100	100	100	100	100	100	100
liefern Koks Proc. .	55	84	35,6	72	64	55	60	30	—
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

und fallen schnell in Stücke, backen jedoch nicht zusammen, und geben verhältnissmässig wenig Asche; oft werden sie auch Rauchfreie genannt, geben jedoch meist einen geringen leichten Rauch. Nach längerem Liegen an der Luft zerfällt diese Kohle und darf, wenn transportirt, nicht roh behandelt werden. Dieser Umstand, und die oft beträchtliche Quantität, die durch die Roststäbe fällt, veranlassen zuweilen einen nicht unbedeutenden Verlust, bis zu 15 Proc. Um dies zu umgehen thut man oft gut, diese Kohle mit anderen härteren Sorten zu mischen, damit der Kohlenstaub benutzt werden kann. Auch die Tabelle zeigt höhere Heizeffecte für die gemischten Kohlen, als sich der Mischung nach ergeben haben würde, vielleicht hierdurch veranlasst. Es mag sich wohl annehmen lassen, dass besonders in Folge der Leichtigkeit, mit der sich mit diesen Kohlen ein klares, rauchloses und sparsames Feuer erhalten lässt, dieselben einen höheren Preis erzielen, wie viele andere.

Die halb bituminösen Kohlen enthalten eine grössere, jedoch veränderliche Quantität Kohlenwasserstoffe, und finden als Dampfkohlen mehr Anwendung, wie irgend welche andere Art. Manche davon brennen leicht und offen, während andere sehr stark zusammenbacken; alle besseren Qualitäten brennen leicht mit einem gewöhnlichen Schornsteinzuge, verursachen aber, wenn nicht mit besonderer Aufmerksamkeit geschürt, mehr oder weniger Rauch.

Die besten Kohlen dieser Classe sind diejenigen, welche geringe Quantitäten Asche und Schlacken geben, nicht zu hart sind, und nicht backen, Eigenschaften, die das ökonomische Verbrennen wesentlich beeinflussen. Die Eigenschaften der halb bituminösen Kohlen variiren sehr bedeutend, und es ist schwer, nach dem Aussehen etwas annähernd Bestimmtes über die Qualität derselben auszusagen, mit Ausnahme über den Gehalt an Schiefer, Schwefelmetallen und andere fremde Stoffe. Viele fette, kleinstückige, stark hitzende Kohlensorten, die sich zum Brennen auf dem Kesselrost wenig eignen, können mit Vortheil gemischt mit harten leicht brennenden Kohlen verbraucht werden. Man findet überhaupt, dass für Dampferzeugung sehr oft mit gemischten Kohlen die besten Resultate in Bezug auf Oekonomie, Schnelligkeit und leichte Bedienung erzielt werden.

Die bituminösen Kohlen enthalten grosse Quantitäten von Kohlenwasserstoffen und eignen sich besonders zur Gas-

fabrikation. Die extremen Sorten dieser Art, zu denen z. B. die Boghead-Cannelkohle gehört, haben graue oder graubraune Farbe, sind ohne Glanz und brennen, wenn angezündet, mit stark russender Flamme, fast wie eine Kerze. Als Dampfkohlen eignen sich dieselben nicht, erzeugen viel Asche und Schlacken, und werden fast ausschliesslich als Gaskohlen verwendet.

Koks nennt man die nach der trockenen Destillation der Kohlen erhaltenen Rückstände. Für Kesselroste eignet sich jedoch der Koks am besten, den man durch theilweises Verbrennen in Koksöfen erhalten hat. Viele Arten halbbituminöser Steinkohlen, die reich an Kohlenstoff, auf dem Roste backen und als Dampfkohle wenig Werth haben, eignen sich vorzüglich zur Koksfabrikation für Locomotiven.

Ausser den Steinkohlen in ihrem natürlichen Zustande kommen auch aus Kohlengrus geformte und gepresste, sogenannte Briquets, als Heizmaterial für Dampfkessel in Anwendung. Die Qualität derselben hängt natürlich wesentlich von den Bestandtheilen ab. Zuweilen setzt man mageren Kohlen, die nicht zusammenhalten würden, noch einen Theil Theer zu.

Die Braunkohlen.

Allein den Eigenschaften nach lässt sich eine Grenze zwischen den Steinkohlen und Braunkohlen schwer ziehen, jedoch kann man vom geologischen Standpunkte aus als allgemein feststellen, dass jede fossile Kohlenart, welche jünger ist als Kreide, als Braunkohle, jede ältere Kohle als Steinkohle zu bezeichnen ist. Chemisch lassen sich die beiden durch den grösseren Stickstoffgehalt der Steinkohle oft unterscheiden. Man unterscheidet verschiedene Varietäten der Braunkohle, je nach dem Zersetzungsgrade: 1. faserige Braunkohle, oder fossiles Holz, mit holzartiger Structur, in der oft Stamm- und Wurzelformen deutlich zu erkennen sind; 2. die gemeine Braunkohle, derbe spröde Massen bildend von muscheligem Bruche, und 3. die erdige Braunkohle, welche, wie schon der Name andeutet, eine mit vielen erdigen Substanzen gemischte dunkelbraune Braunkohle ist.

Die Braunkohlen sind häufig durch Schwefelkiese und andere mineralische Bestandtheile, Thonerde, Kalk, Kies etc., verunreinigt. Der Aschengehalt derselben ist ein sehr ver-

schiedener, in deutschen Braunkohlen im Durchschnitt von 5 bis 10 Proc. Bei frisch geförderten Braunkohlen beträgt der hygroskopische Wassergehalt zuweilen bis zu 50 Proc., kann aber bei lufttrockener Kohle zu 20 Proc. im Mittel angegeben werden, so dass lufttrockene Kohle etwa folgende Zusammensetzung hat:

Kohle	48 bis 56 Proc.
Wasserstoff	1 „ 2 „
Chemisch gebundenes Wasser	31 „ 32 „
Hygroskopisches Wasser	20 „

Der Wärmeeffect der Braunkohle ist dem Volumen nach sowohl als auch dem Gewichte nach etwa doppelt so gross als der des Holzes.

Die nutzbare Verdampfungskraft von Braunkohlen ist nach „Wagner“ folgende:

	Wassergehalt	Asche	Verdampfungskraft
Böhmische Braunkohle	28,7 Proc.	10,6 Proc.	5,84 Kilo
Bituminöses Holz	23,7 „	3,9 „	5,67 „
Erdige Braunkohle	47,2 „	4,8 „	5,55 „
Stückkohle	47,7 „	3,1 „	5,08 „

Die Anwendung der Braunkohlen für industrielle Zwecke im grösseren Maassstabe ist meist auf die nähere Umgebung der Fundorte angewiesen, viele Sorten, welche am Fundorte selbst Anwendung finden, würden die Transportkosten nicht bezahlen, da sie zuweilen sehr bedeutenden Aschengehalt und Wassergehalt haben. Die erdigen Braunkohlen eignen sich für Treppenrostfeuerungen besser wie für Planroste, weil sie hier weniger leicht durchfallen, und man ihnen im Treppenroste besser die nöthige Verbrennungsluft zuführen kann. In einigen Gegenden benutzt man auch mit gutem Erfolge Gemische von Braunkohlen und Steinkohlen.

Verbrennung von Kohlen.

Die totale theoretische Verbrennungswärme eines Brennmaterials kann gefunden werden, indem man die Verbrennungswärme der einzelnen Bestandtheile addirt. Verbrennt z. B. 1 Kilo Koks von obiger Zusammensetzung zu Kohlensäure, so haben wir der Zusammensetzung nach 0,94 Kilo Kohle multiplicirt mit 8080 = 7595 Wärmeeinheiten. Diese Zahl giebt uns jedoch nicht direct die Temperatur der gebildeten

Kohlensäure, sondern um diese zu bestimmen, müssen wir das Gewicht des gebildeten Verbrennungsgases mit der specifischen Wärme desselben multipliciren, letztere nehmen wir hier als constant für alle Temperaturen an, und mit dem Product in die Anzahl der Wärmeeinheiten dividiren. Ferner ist hierbei zu berücksichtigen, dass die atmosphärische Luft zum grossen Theil aus Stickstoff besteht, der zu seiner Erwärmung eines bedeutenden Wärmequantums bedarf. Durch die vollkommene Verbrennung von 1 Kilo Koks mit 0,94 Kilo Kohlenstoffgehalt bilden sich $0{,}94 + 0{,}94 \times 2{,}67 = 3{,}45$ Kilo Kohlensäure. Hierzu sind 2,51 Kilo Sauerstoff und das $3\frac{1}{2}$fache Gewicht oder 8,82 Kilo Stickstoff erforderlich, oder im Ganzen

Sauerstoff = 2,51 Kilo
Stickstoff = 8,82 „
11,33 Kilo atmosphärische Luft.

Die gebildeten 3,45 Kilo Kohlensäure multiplicirt mit der specifischen Wärme der Kohlensäure = 0,244 giebt . . 0,745
die 8,82 Kilo Stickstoff mit 0,244 . . = 2,152
2,897

Die Temperaturerhöhung über der der atmosphärischen Luft beträgt demnach: $\frac{7595}{2{,}897} = 2621{,}7^0$ C.

Nehmen wir nun den verwickelteren Fall einer durchschnittlichen Steinkohle, deren Zusammensetzung wie folgt ist:

Kohlenstoff = 0,821
Wasserstoff = 0,053
Sauerstoff = 0,057

so haben wir zuerst das aus dem O und H resultirende Wasser zu berechnen. Dies beträgt für jede Gewichtseinheit O ein achtel Gewichtseinheit H oder $\frac{0{,}057}{8} + 0{,}057 = 0{,}064$ Kilo Wasser. Hierzu sind $\frac{0{,}057}{8} = 0{,}0071$ Kilo Wasserstoff nöthig, es bleiben demnach $0{,}053 - 0{,}007 = 0{,}046$ Kilo. Die in Rechnung zu ziehenden Bestandtheile sind nun:

Kohlenstoff = 0,821 Kilo
Wasserstoff = 0,046 „
Wasser = 0,064 „

Kohlenstoff . . . 0,821 × 8080 = 6633,7 Wärmeeinheiten
Wasserstoff . . . 0,046 × 34462 = 1585,2 „
als totale Wärmemenge durch
die Verbrennung . . . . . = 8218,9 Wärmeeinheiten

Der zur Bildung der Kohlensäure erforderliche Sauerstoff	=	2,18 Kilo
Der zur Bildung des Wassers erforderliche Sauerstoff	=	0,368 „
Gesammtgewicht des verbrauchten Sauerstoffs	=	2,548 Kilo
Der mit dem Sauerstoff in der Luft gemischte Stickstoff	=	8,918 „
Totalgewicht der atmosphärischen Luft . . .	=	11,466 Kilo

Gewicht der sich bildenden CO_2

$$= 0{,}821 + 0{,}821 \times 2{,}67 = 3 \text{ Kilo} \times 0{,}216 = 0{,}648$$

Gewicht des Dampfes	Wasser in der Kohle = 0,064 Wasser durch Verbrennung des Wasserstoffes = 0,414	= 0,478 „	× 0,480	= 0,229
Stickstoff		8,918 „	× 0,244	= 2,176
				3,053

Um nun die Temperaturerhöhung in Graden über der Temperatur der atmosphärischen Luft zu bestimmen, muss die im Dampf enthaltene latente Wärme subtrahirt werden, wir bekommen also:

$$\frac{8218{,}9 - (537 \times 0{,}478)}{3{,}053} = 2608^0 \text{ C.}$$

Aus obigen Berechnungen ergiebt sich, dass die totale Verbrennungswärme der Kohle grösser ist, als die des Koks, während die Temperatur der Verbrennungsgase bei Kohle geringer ist, als bei Koks. Die Ursache hierfür liegt erstens darin, dass zur Verbrennung der Kohle eine grössere Quantität Luft, welche auf die Temperatur der Verbrennungsproducte erhöht werden muss, nöthig ist, und ferner, dass ein bedeutender Theil der Wärme durch das in Dampf verwandelte Wasser gebunden wird.

Die aus obigen Berechnungen resultirenden Temperaturen werden jedoch auch nie in der Praxis erreicht. Die Quantität der atmosphärischen Luft ist bedeutend grösser, als die theoretisch berechnete, und ferner absorbiren die Oefen und Kessel selbst sowie die Schlacken und Aschen eine ganz bedeutende Wärmemenge.

Das theoretisch zur Verbrennung eines Körpers nöthige Luftquantum richtet sich nach der chemischen Zusammen-

setzung desselben und kann nach folgender Formel annähernd berechnet werden. Es sei A das Gewicht der nöthigen Luft, so ist $A = 12\,C + 36\left(H - \frac{O}{8}\right)$ unter der Voraussetzung, dass für alle Arten Kohle und Koks das 12fache Gewicht Luft für jede Gewichtseinheit Kohlenstoff nöthig sei; der zweite Theil der Formel ist für das im Brennmaterial enthaltene Wasser. Man darf jedoch nicht annehmen, dass mit einem so geringen Luftquantum eine vollständige Verbrennung der Kohlen auf dem Roste möglich wäre. Sobald sich durch die Verbrennung Kohlensäure oder Kohlenoxydgas gebildet haben, wird der weitere Process beeinträchtigt, und ein bedeutendes Luftquantum zur Verdünnung ist nöthig, um den Process zu unterhalten. Es hängt nun wesentlich von der Geschwindigkeit und Art der Vertheilung dieser Verdünnungsluft ab, wie viel von letzterer erforderlich ist.

Sind die Kohlen klein und backend, so bilden dieselben eine grosse solide Masse auf dem Roste, und lassen der Luft nur einige Oeffnungen, durch die sie in grösseren Quantitäten strömt; statt sich gründlich mit den Verbrennungsgasen zu mischen geht nun, besonders bei schwachem Schornsteinzuge, viel unverbrannte Luft durch den Rost. Bei kräftigem Zuge und guter Behandlung brennen selbst backende Kohlen gut und sparsam, und werden von Vielen, die damit umzugehen wissen, geschätzt. Bei wenig und halb bituminösen Kohlen sind die Luftöffnungen auf dem Roste besser vertheilt, und lässt sich in Folge dessen eine bessere Verbrennung bei geringerer Aufmerksamkeit erzielen.

Aus einer Anzahl von Experimenten, die unter verschiedenen Umständen ausgeführt wurden, ergiebt sich als Resultat, dass für gewöhnlichen Schornsteinzug das Gewicht der nöthigen Luft ungefähr doppelt so gross ist, als das für die theoretische Verbrennung. Hiernach würden 24 Kilo Luft von mittlerer Temperatur für jedes Kilo auf dem Rost verbrannter Kohlen erforderlich sein. Unter günstigen Umständen, bei sehr kräftigem Zuge und lebhaft brennender Kohle, vermindert sich dies, und man kann für künstlichen Zug oder sehr starken Schornsteinzug als Minimalgewicht das achtzehnfache Gewicht der verbrannten Kohle annehmen.

Für die günstige Verbrennung halb bituminöser Kohlen ist es nothwendig, die sich in bedeutenden Massen bildenden Kohlenwasserstoffgase dicht über der Kohlenschicht mit Luft

zu mischen. Dies geschieht entweder durch die Feuerthür oder durch die Feuerbrücke, oder aber durch beide. Zuweilen richtet man auch die Roste so ein, dass Luft seitlich in den Feuerraum tritt, und sich hier mit den Gasen mischen kann. Welche dieser Methoden man nun auch immer anwende, man hüte sich davor, zu grosse Luftquanten an einer Stelle eintreten zu lassen, sondern vertheile die Oeffnungen möglichst, um eine grosse Anzahl feiner Luftstrahlen, am besten nicht parallel zur Richtung des Zuges, einzuführen. Befolgt man dies nicht, so schadet man leicht der Verbrennung durch örtliche Abkühlung mehr, als man durch Einführung der Luft gewinnt.

Da die chemische Wirkung zwischen dem Brennmaterial und dem Sauerstoff nur dann stattfinden kann, wenn beide in innigster Berührung sind, so wird sich die Vollkommenheit und Intensität der Verbrennung mit der Anzahl der Berührungsflächen vergrössern, man wird also mit zerkleinerter Kohle bessere Resultate erzielen. Folgert man in derselben Weise weiter, so muss man endlich zu dem Schlusse kommen, dass Kohle in Staubform oder gar in gasförmigem Zustande die beste Verbrennung liefern würde. Die Schwierigkeit mit Staubkohle ist jedoch die, dass eine innige Mischung mit der Luft, ein wie wir wissen wichtiger Umstand, grosse Schwierigkeiten hat, und trotzdem solche Feuerungen mit guten Resultaten Anwendung finden, z. B. für Puddelöfen, so haben sie doch für Kessel bisher noch keine Bedeutung gewonnen. Gasöfen mögen in mehr vervollkommneter Form in Zukunft grössere Verwendung finden.

Um die Quantität der zur Verbrennung nöthigen Luft unter verschiedenen Verhältnissen reguliren zu können, schaltet man zwischen den Zügen und dem Schornstein einen Schieber ein. Für jeden Kessel wird die ökonomische Luftzuführung wesentlich von Verhältnissen abhängig sein, die theils mit der Construction des Kessels, des Rostes, der Kohlenvertheilung auf dem Roste, dem Verhältniss der Rostgrösse zur feuerberührten Fläche, der Qualität des Brennmaterials den momentanen Ansprüchen und vielen anderen Umständen abhängen, die auszugleichen der Schieber dienen soll. Es ist nun aber nicht nöthig, dass, wenn man diese ökonomische Grenze übersteigt, das Feuer also forcirt, man nothgedrungen ein grosses Quantum unverbrannter Luft im Schornstein haben muss. Ob dies der Fall sein wird oder nicht, hängt wesentlich von

der Vertheilung der Kohle auf dem Roste, der Art der Mischung der Gase mit Luft, und von der Quantität Luft ab, die auf andere Weise als durch den Rost in das Feuer gelangt. Es wird vorkommen, und zwar ist dies bei gutem Feuern der Fall, dass sich mit dem forcirten Zuge die Quantität des unverbrannten Sauerstoffs vermindert, weil die Mischung eine vollkommenere ist.

Der Nachtheil, der sich beim forcirten Feuern am häufigsten fühlbar macht, ist der geringere Effect, weil die heissen Gase nicht Zeit haben, alle Wärme durch die Kesselbleche an das Wasser abzugeben, da für diese Wärmeaufnahme eine gewisse Zeit erforderlich ist. Kommt jedoch ausser dieser verringerten Wärmeaufnahme in Folge der grossen Geschwindigkeit der Gase ein grosses Quantum unverbrannten Sauerstoffs in den Schornstein, so ist der Nachtheil ein doppelter.

Die Folgen von zu geringer Luftzuführung sind die Bildung von Rauch und von Kohlenoxydgas als Product an Stelle von Kohlensäure. Der Wärmeverlust in Folge der Bildung von Kohlenoxydgas beläuft sich oft auf 25 Proc. verglichen mit der Wärme, welche durch günstige Luftzuführung erzeugt werden könnte. Das Kohlenoxydgas ist unsichtbar, seine Anwesenheit lässt sich jedoch oft entdecken, wenn beim Oeffnen der Feuerthür blaue Flammen über der Kohlenschicht spielen; besonders häufig bemerkt man dies beim Koksfeuer, wegen der Abwesenheit anderer brennbarer Gase. Wenn bei hoher Temperatur mit Sauerstoff verbrannt, ist die Flamme nicht blau, sondern gelb.

Trockener Kohlenstoff brennt ohne Flamme, bemerkt man daher über einem Koks- oder Holzkohlenfeuer eine Flamme, so rührt dieselbe von brennendem Kohlenoxyd oder Wasserstoff her, letzterer kann sich aus etwa vorhandenem Wasser im Feuer selbst gebildet haben.

Nehmen wir die zur Verbrennung von Koks nöthige Gewichtsmenge Luft zu 1,5, die für bituminöse Kohlen zu 2mal der theoretischen an, so ergiebt sich aus obigen Berechnungen eine Temperaturerhöhung von 1826^0 C. für Koks, 1550 für Kohle, und die totalen Verbrennungswärmen stellen sich zu 7595 und 8219 Wärmeeinheiten. Der Unterschied zwischen der totalen Verbrennungswärme und der Temperatur der Verbrennungsproducte zeigt sich hier in auffallender Weise, man kann diese auch die Quantität und die Intensität der Wärme nennen, letztere ist in den Brennmaterialien grösser,

die wenig oder keinen Wasserstoff enthalten, jedoch wird eine geringere Wärmequantität durch die Verbrennung dieser erzeugt. Die Ursache hiervon ist klar. Zur Verbrennung bedarf Kohlenstoff nur ein Drittel des Gewichts an Sauerstoff oder Luft als ein gleiches Gewicht Wasserstoff, das Resultat ist in ersterem Falle ein geringeres Quantum Kohlensäure verglichen mit dem Wasserdampf, der das Product der Verbrennung im anderen Falle ist. Ferner ist die specifische Wärme der Kohlensäure weniger als ein Viertel die des Wasserdampfes, und ein geringes Quantum der erzeugten Wärme wird also zur Erhöhung der Temperatur der Verbrennungsgase ausreichen.

Ferner bildet sich bei der Verbrennung trockenen Kohlenstoffes oder Koks wenig oder gar kein Wasserdampf, der, wie wir gesehen haben, ein bedeutendes Quantum entwickelter Wärme bindet.

Die Intensität der Wärme, welche ein Stück Kohle während seiner Verbrennung abgiebt, wird proportional zur Schnelligkeit der Verbrennung sein, und es ist deshalb von grosser Bedeutung, bei Bestimmung des Wärmeeffectes einer gewissen Kohle die Zeit in Rücksicht zu ziehen. Die theoretische Intensität der Wärme zweier Kohlensorten mag fast gleich sein, wenn einfach nach der Zusammensetzung berechnet, und doch mag, bei demselben Zug und unter sonst gleichen Umständen, die eine eine schnell und lebendig brennende, lose Kohle sein, die während der kurzen Zeit ihrer rapiden Verbrennung eine sehr starke Hitze entwickelt, während die andere von fester Structur, langsamer brennend, eine längere Zeit zur Verbrennung bedarf und deshalb keine so hohe Hitze entwickelt. (Siehe Tabelle auf S. 314.) Für langsam brennende Kohlen verringert sich noch ferner die Intensität der Wärme durch Verlust in Folge von Wärmeleitung und Strahlung.

Trotzdem die Verbrennung von Wasserstoff die grösste erreichbare Wärmemenge liefert, so lässt sich doch bei der Verbrennung in atmosphärischer Luft, wie sie im Kesselfeuer nur möglich ist, in Folge der grossen Quantität Luft eine hohe Temperatur nicht erzielen. Es wird nun einleuchtend sein, weshalb man zur Erreichung sehr hoher Temperaturen Kohle in Koks und Holz in Holzkohle verwandelt, trotzdem man dabei brennbare Producte nutzlos zu verschwenden scheint. Ein gegebenes Gewicht guter Kohle wird, wenn richtig verbrannt und alle Wärme benutzt wird, mehr Wasser in Dampf

zu verwandeln im Stande sein, als ein gleiches Gewicht Koks, jedoch lässt sich mit einer beliebigen Quantität Kohle nicht eine so hohe Temperatur erreichen als mit Koks. Aus diesem Grunde ist Koks überall da, wo es sich um hohe Wärmegrade handelt, wie in Schmelzprocessen, gänzlich unentbehrlich. Die Flamme eines Feuers ist gewöhnlich nicht so heiss als das brennende Material. Viele Anthracitkohlen, die sehr starken Zug verlangen, entwickeln bei ihrer Verbrennung eine so intensive Hitze, dass die Roststäbe stark darunter leiden. Um dies zu vermeiden, hat man unter dem Roste im Aschenfall Wasser aufgestellt, welches durch die strahlende Hitze verdampft, mit der Luft durch den Rost geht, und hier in seine Bestandtheile zersetzt wird. Der mit langer Flamme brennende Wasserstoff vergrössert dadurch die Heizkraft der Kohle noch besonders für Schmelzprocesse, wo man nur einen geringen Theil des zu erhitzenden Materials in directe Berührung mit dem Feuer bringen kann.

Es ist wohl einleuchtend, dass von der Gesammtwärme, die auf dem Roste einer Feuerungsanlage entwickelt wird, nur ein Theil wirklich nutzbar gemacht werden kann, während ein anderer verloren geht. Die Verluste werden durch verschiedene Umstände verursacht, je nach der Construction des Rostes und dem Material des Ofens gehen von 5 bis 10 Proc. Wärme durch Strahlung verloren.

Der in Folge der heiss durch den Rost fallenden Aschen, Schlacken und Kohlen verursachte Wärmeverlust variirt je nach dem Aschengehalt und der Cohäsion der Kohle sehr bedeutend, und kann von $1^1/_2$ bis 15 Proc. betragen, mag jedoch im Durchschnitt zu 10 Proc. veranschlagt werden. Ein grosser Theil der entwickelten Wärme geht stets mit den von 200 bis 380° C. heissen Verbrennungsgasen in den Schornstein. Es bleibt uns in Folge aller dieser Verluste nur etwa 60 Proc. der entwickelten Wärme für Verdampfungszwecke in Kesseln mit innerer Feuerung und für solche mit äusserer Feuerung nur etwa 50 Proc.

Benutzt man Kohlen mit einem bedeutenden Kohlenwasserstoffgehalte, so geht oft dadurch viel Wärme verloren, oder wird vielmehr gar nicht entwickelt, dass diese Gase unverbrannt abziehen. Mit nöthiger Vorsicht, besonders beim Feuern, lässt sich dies allerdings umgehen, jedoch wird von einigen Autoritäten auf den Gehalt an gebundenem Kohlenstoff in der Kohle keine Rücksicht genommen, und bei Berechnung

des Heizeffectes nur der freie Kohlenstoff in Rechnung gezogen.

Nehmen wir an, die Verbrennungsgase für Koks und Kohlenfeuer verlassen den Kessel bei einer Durchschnittstemperatur von 317° C., eine Temperatur, die für einen guten Zug günstig ist, und erlauben das ein- und einhalbfache theoretische Luftquantum für Koks und das zweifache für Kohle, so ist nach Abzug der Temperatur der äusseren Luft die verlorene Wärme $300 \times 1{,}5 \times 2897 = 1303{,}6$ Wärmeeinheiten für Koks und $300 \times 2 \times 2897 = 1720{,}2$ Wärmeeinheiten für Kohle. Diese Zahlen entsprechen einer Verdampfung von 2,4 und 3,2 Kilo Wasser von 100° pro Kilo Kohlen. Diese Betrachtung zeigt, dass der Verlust für Kohle in diesem Falle grösser ist, als der für Koks, weil das Gewicht und die specifische Wärme der Verbrennungsproducte der ersteren grösser ist, als die der letzteren. Man sollte deshalb für Kohlen unter sonst gleichen Umständen die Heizfläche im Verhältniss zur Rostfläche grösser anordnen als für Koks.

Die chemische Analysis einer Kohle giebt, ausser dem Gehalt an Asche, Schwefel und anderen Unreinigkeiten, nur wenig Aufschluss über den wirklichen Nutzwerth derselben. Die chemischen Analysen von Haus-, Gas- und Dampf-Kohlen zeigen oft nur sehr geringe Unterschiede, jedoch ordnen sich die Elemente vor und während der Verbrennung in verschiedenen Kohlen sehr verschieden an, und der Ertrag an Koks und Gas aus gewissen Kohlen scheint mit der chemischen Zusammensetzung oft gar nicht übereinzustimmen, wie sich schon in der Tabelle (s. S. 301) über die Zusammensetzung verschiedener Kohlen sehen lässt. Die einzige wirklich zuverlässige Methode den Nutzwerth einer Kohle zu bestimmen, ist durch den Versuch, und der berechnete theoretische Nutzeffect wird dann oft als durchaus nicht mit den praktischen Resultaten übereinstimmend gefunden werden. Allerdings würden sich ohne Zweifel durch passend construirte Oefen mit genau regulirter Luftzuführung praktische Resultate erzielen lassen, die in einem bestimmten Verhältniss zu den theoretischen stehen, jedoch wird es hierbei stets in sehr bedeutendem Maasse auf die Gewandtheit und Vorsicht des Heizers ankommen, und von zwei Kohlensorten, die bei bester Behandlung beim Heizen dieselben Resultate geben, wird diejenige die werthvollste sein, die am wenigsten Wartung nöthig macht.

Eine Reihe Versuche über die Heizkraft verschiedener Kohlen sind in den Jahren 1874 bis 1876 auf der kaiserlichen Werft zu Wilhelmshafen ausgeführt worden. Der Versuchskessel war nach dem System der in der Marine gebräuchlichen Röhrenkessel construirt und hielt etwa 9000 Kilo Wasser.

Die Hauptdimensionen des Kessels sind folgende:

Heizfläche, in den Feuerungen		6,56 m²
„ „ „ hinteren Rauchkammern		9,196 „
„ „ „ vorderen „		4,350 „
„ „ „ Feuerrohren		81,600 „
	Zusammen	101,706 m²

Messingfeuerrohre 70 mm Durchmesser innen, 75 mm aussen, 2,00 m lang.

Rostfläche, totale	3,52 m²
„ freie	0,824 „

Roststäbe, 32 mm breit, 13 mm Zwischenraum.

Heizfläche, dividirt durch totale Rostfläche	28,89
Totale Rostfläche, dividirt durch freie Rostfläche	4,27
Länge der Heizrohre, dividirt durch Durchmesser	28,57
Schornstein, Eisen, unten 800 mm, oben 700 mm Durchmesser, 12 m hoch über dem Kessel. Kleinster Schornstein Querschnitt, dividirt durch freie Rostfläche	0,467

(Siehe die Tabelle auf folgender Seite.)

Die Dauer der Versuchszeit betrug in den meisten Fällen nicht mehr als 6 Stunden, bei einigen Sorten wurde dieselbe bis zu 10 und mehr Stunden ausgedehnt. Einen wesentlichen Unterschied macht bei vielen Kohlen die Zeit, während welcher dieselben der atmosphärischen Luft ausgesetzt waren. Einige der oben geprüften Kohlen hatten längere Zeit auf Vorrath gelegen, während andere verhältnissmässig frisch zur Verwendung kamen. Ferner sind oft die Kohlen desselben Schachtes in verschiedenen Schichten von sehr verschiedener Qualität, und ich habe schon aus dem Grunde davon abgesehen, die Resultate vollständig wiederzugeben, sondern nur Mittelwerthe aufgeführt.

Die in der Beilage zu Nummer 19 des Marineverordnungsblattes veröffentlichten Resultate enthalten ferner noch interessante Angaben über die Cohäsion sowie über die Rauchbildung und Dauer des Rauches. Im Ganzen kamen 77 Kohlensorten und Kohlengemische zur Verwendung, und wenn auch

Resultate der vergleichenden Heizversuche mit verschiedenen Steinkohlensorten.

Kohlensorten	Verdampftes Wasser von 0^0 pro Kilo Kohle in Kilogr.	Unverbrannte Rückstände Proc.
Westphälische Gaskohlen:		
Maximum (Zeche Hibernia)	7,745	4,66
Durchschnitt von 7 Kohlensorten . . .	6,986	8,20
Minimum (Königsgrube)	6,609	7,52
Westphälische Fettkohlen:		
Maximum (Schacht Clerget)	8,751	3,80
Durchschnitt von 38 Kohlensorten . .	8,192	8,18
Minimum (Zeche Rosenblumendelle mit 30 Proc. Grus)	6,936	15,02
Westphälische Sinter und Sandkohlen:		
Maximum (Zeche Nachtigal)	8,517	9,72
Durchschnitt von 15 Kohlensorten . .	8,052	10,86
Minimum (Zeche Alstaden)	7,030	16,06
Gemenge verschiedener westphälischer Kohlen:		
Maximum	8,621	8,49
Durchschnitt von 5 Mischungen . . .	8,426	
Minimum	7,956	—
Kohlen aus den Gruben des Wurmreviers zu Kohlscheid:		
Maximum	8,582	8,67
Durchschnitt aus 2 Kohlensorten . . .	8,461	8,65
Minimum	8,341	8,63
Oberschlesische Kohlen:		
Maximum (Königin Louisen-Grube) .	7,079	4,72
Durchschnitt aus 3 Kohlensorten . . .	6,931	4,69
Minimum (Königsgrube Würfelkohle)	6,726	5,0
Englische Kohlen:		
Maximum (Welsh Thomas)	8,553	10,02
Durchschnitt aus 8 Kohlensorten . . .	7,902	9,01
Minimum (Schottisch West Limerigg)	6,945	7,14

die Resultate als sehr vorsichtig gewonnen anzusehen sind, so würden sich doch mit der einen oder anderen Kohlenart in anders proportionirten Kesseln und Rosten bessere Resultate erzielen lassen, als die hier gewonnenen. Die verdampfte Wassermenge würde für alle Versuche auf Wasser von 0^0 reducirt, und bediente man sich hierzu der Formel $v_1 = \frac{v \,.\, 637 - vt}{637}$.

Das so erhaltene Wassergewicht durch das Gewicht der verbrannten Kohle dividirt giebt das gesuchte Resultat, den Heizeffect.

Die in den Tabellen angegebenen Resultate werden in der Praxis selten erzielt, die Heizfläche des Kessels setzt sich bald voll Russ und verringert dadurch das Leitungsvermögen. Ferner wird selten oder nie beim Feuern so viel Vorsicht angewandt werden, den Rauch zu vermeiden, und alle anderen Verhältnisse beim Feuern der Qualität der Kohle bestens anzupassen. Wie viel übrigens von der Fähigkeit des Heizers abhängt, aus einem gegebenen Kohlenquantum den grössten Effect zu erzielen, wird jeder aufmerksame Beobachter leicht bemerken können; ausgezeichnete Illustrationen hierfür bieten die zu verschiedenen Zeiten von den landwirthschaftlichen Gesellschaften Englands gehaltenen Preis- und Wettbetriebe von Locomobilen, wo ein gewisses Kohlenquantum jeder Locomobile zuertheilt wird, und dem Heizer die Aufgabe zufällt, hiermit seine Locomobile möglichst lange im Betriebe zu halten, und dabei stets eine gewisse Kraft an eine Frictionsbremse abzugeben. Die Unterschiede zählen bei diesen von 3 bis 4 Stunden andauernden Versuchen oft nur nach Secunden.

In demselben Kessel mit gleichem Rost und unter sonst gleichen Umständen wird die Temperatur der entweichenden Gase bei halb bituminösen Kohlen mit langer Flamme höher sein, als die bei Anwendung von Kohlen mit kurzer Flamme. Bei den ersteren vertheilt sich die Wärmeentwickelung über eine grössere Fläche, und die Gase haben daher weniger Gelegenheit, sich abzukühlen, als wenn die Wärmeentwickelung mehr auf den Rost localisirt ist, und die Gase auf dem langen Wege Zeit haben, sich mehr abzukühlen. Aus diesem Grunde eignen sich für halb bituminöse Kohlen, die mit langer Flamme brennen, kürzere Roste für eine gleiche Kohlenquantität besser, und ferner hängt der Effect sehr wesentlich von der richtigen Luftzuführung ab, so dass ein Kessel für eine Qualität Kohle sehr passend und günstig sein kann, während derselbe für

eine andere Kohlenart gänzlich unbrauchbar sein mag. Es ist dies ein Umstand, auf welchen bei der Wahl der Kessel für gewisse Kohlendistricte viel zu wenig Rücksicht genommen wird, und doch kann ohne Uebertreibung behauptet werden, dass sich ein Kessel construiren liesse, der mit einer Kohlenart 50 Proc. bessere Resultate geben würde, als mit einer anderen, während in einem anderen Kessel die Theile so proportionirt werden könnten, dass sich das Verhältniss umkehrte.

Vierzehntes Capitel.

Das Feuern und die Verhinderung von Rauch.

Ehe wir beginnen, über die Bildung und Verhinderung von Rauch Näheres zu sagen, wird es am Platze sein, erst zu erklären, was unter dem Namen Rauch eigentlich zu verstehen ist, weil über diesen Punkt ganz bedeutende Missverständnisse existiren.

Wirft man Kohlen, besonders halb bituminöse, in solcher Quantität auf ein Feuer, dass die sofortige Bildung von Flammen verhindert wird, so zeigt sich vom Feuer aufsteigend ein gewisses Volumen Gas von gelbbrauner oder blauer Farbe, dessen Quantität wesentlich von der Grösse der Kohlentheile abhängig ist. Diese Gase oder Dämpfe werden gewöhnlich Rauch genannt, unterscheiden sich jedoch wesentlich von dem Rauch, der bei der Russbildung zur Sprache kommt. Die Farbe dieser Gase, wenn sie dem Schornsteine entziehen, hängt von verschiedenen Umständen ab, vom Hintergrunde, der Art des Lichtes, ob reflectirt oder direct, in ersterem erscheint das Gas meist bläulich, in letzterem gelb. Gegen einen dunkelen Hintergrund, wie eine Mauer oder Berge, erscheint dasselbe grau oder blau; gegen dunkele Wolken meist hellbraun oder grau, oder ist gänzlich unsichtbar; gegen weisse Wolken und den blauen Himmel ist die Farbe gelb oder braun, nie jedoch grauschwarz oder schwarz wie wirklicher Rauch.

Hält man über diese vom Feuer ohne Flamme entweichenden Gase ein Stück weisses Papier, so zeigt sich bald ein klebriger, brauner Ueberzug von theer- oder schwefelartigem Geruche, der von den flüchtigen, in den Dämpfen enthaltenen

Producten herrührt. Ausser diesen färbenden Bestandtheilen bestehen diese Gase meist aus Kohlenwasserstoffen, besonders ölbildendem und Sumpfgas, oder einem Gemische verschiedener Kohlenwasserstoffe, ähnlich wie das im gewöhnlichen Gebrauch befindliche Leuchtgas.

Haben die Kohlen und die entweichenden Gase eine hinreichend hohe Temperatur angenommen, so können letztere durch ein genähertes Licht oder auch durch Schüren des Feuers entzündet werden. Ueber dieser Flamme nun zeigt sich, besonders gegen einen schwarzen Hintergrund gesehen, keine Gaswolke mehr, hält man aber über das Ende der Flamme ein Blatt Papier, so sammeln sich auf diesem neben einer geringen Menge der klebrigen braunen Substanz eine Masse kleiner schwarzer Russtheilchen an. Hier muss also durch die Flamme eine chemische Veränderung hervorgebracht worden sein, die sich einfach als Verbrennung bezeichnen lässt. Die Kohlenwasserstoffe sind durch Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft zersetzt, verbrannt und die Verbrennungsproducte, Kohlensäure und Wasserdampf, entweichen als unsichtbare Gase. Ein Theil des Kohlenstoffes, besonders der in kleinen Theilen mechanisch in den braunen Gasen fortgerissene, hat nicht Zeit genug gehabt, sich hinlänglich vorzuwärmen um verbrannt zu werden, und ist nun als solcher fein vertheilter Kohlenstoff ausgeschieden, der sich an kalten Flächen als schwarzer Rückstand absetzt.

In einem offenen Feuerherde, wo die umgebende Luft kalt ist, zeigen sich diese Kohlentheilchen erst, wenn der Wasserstoff bereits brennt, werden von den gleichzeitig sich bildenden Verbrennungsgasen fortgerissen, und setzen sich allmälig aus diesen an den Wänden und im Schornsteine ab. Verlassen sie diesen mit den übrigen, so geben sie je nach ihrer Masse dem Rauch eine mehr und mehr schwarze Farbe, würden sich aber bald von den übrigen Gasen scheiden, wenn sie nicht, besonders durch Wasserdampf, der sich in bedeutender Menge bildet, beim Verbrennen von 1 Kilo Kohle ungefähr $^1/_2$ Kilo Wasser, mit fortgerissen würden.

Der in unserem Leuchtgase und unseren Lichtern unverbrannte Kohlenstoff kann leicht sichtbar gemacht werden, wenn man über die Flamme einen kalten Teller oder dergleichen hält, in den Zimmern zeigt er sich als schwarzer Niederschlag an den Wänden und Decken. Die ölbildenden und Sumpfgase werden beim Ausströmen aus dem Gasbrenner

zersetzt; der leichter entzündliche Wasserstoff brennt dicht über dem Brenner mit blauer Flamme, in welcher sich die ausgeschiedenen Kohlentheile erhitzen und nun ebenfalls zu brennen beginnen, und könnten wir der Flamme hinreichend Sauerstoff zuführen, so würde aller Kohlenstoff verbrannt werden, bringen wir jedoch einen kalten Gegenstand in die Flamme, so wird der Kohlenstoff durch Entziehung von Wärme an der Verbindung mit Sauerstoff gehindert, und schlägt sich im fein vertheilten Zustande nieder. Hieraus folgt, dass selbst bei ausreichendem Luftquantum Rauch gebildet werden kann, wenn man der Flamme zu viel Wärme entzieht, indem man sie mit einem guten Wärmeleiter umgiebt, der aussen stets Gelegenheit findet, die aufgenommene Wärme wieder abzugeben.

Nach dem Vorgehenden würde es demnach erscheinen, dass wirklicher Rauch nur entstehen kann, nachdem das Feuer mit Flamme brennt, und allerdings ist dies unter gewissen Bedingungen wahr, nämlich im offenen Herd, wo die umgebende Luft kalt ist. In geschlossenen Oefen dagegen, in denen die Temperatur sehr hoch ist, kann Kohlenstoff durch die Wärme allein aus den Destillationsgasen ausgeschieden werden, auch ohne die Verbrennung von Wasserstoff, und Rauch kann sich also ohne Flamme bilden. Rauch kann in allen Fällen dadurch verhindert werden, dass man dem ausgeschiedenen Kohlenstoff, so lange er noch hinreichend warm ist, eine zur Verbrennung ausreichende Quantität Luft zuführt. Das Verbrennungsproduct ist in diesem Falle unsichtbare Kohlensäure.

Was also zur Rauchverhinderung nöthig ist, ist erstlich ein hinreichendes Luftquantum, und zweitens eine genügend hohe Temperatur. In unseren Hausöfen, vorzüglich den offenen Kaminen, haben wir meist ausreichend Luft, da jedoch nur ein geringes Volumen durch den Rost geht und erwärmt wird, während die umgebende Luft kalt ist, so entzieht letztere dem Feuer so viel Wärme, dass die Verbrennung eine mehr oder weniger unvollkommene ist. In einer Kesselfeuerung sind die Zustände umgekehrt, die Temperatur ist, falls das Feuer nicht durch grosse Quantitäten frischer Kohlen abgekühlt wurde, stets eine sehr hohe, aber die Zuführung der Luft, besonders oberhalb der Flamme, sehr oft umzulänglich. Alle guten Constructionen, die die Absicht haben, Rauchbildung zu verhüten und Rauchverbrennung zu sichern, sind

daher so eingerichtet, dass sie der Flamme oberhalb des Rostes an irgend welcher Stelle Luft, am besten warme Luft zuführen.

Ein Plan, der früher sehr häufig und noch jetzt hier und da angetroffen wird, um den einmal gebildeten Rauch zu verzehren, ohne der Flamme Luft zuzuführen, bestand darin, dass man die heissen Verbrennungsgase, besonders Kohlensäure, mit dem Rauch mischte, wodurch sich bei hoher Temperatur Kohlenoxyd bildet. Häufig wurde für diesen Zweck noch ein zweiter Ofen benutzt, und das Resultat war allerdings insofern befriedigend, als sich kein Rauch zeigte, jedoch wurde dabei eine grosse Quantität Brennmaterial verschwendet. Selbst diese Anordnung möchte ökonomisch gemacht werden, wenn man zur rechten Zeit und am rechten Orte Luft einströmen liesse.

Da bei einer niedrigen Temperatur für die Bildung von Rauch eine Flamme nöthig ist, so wird es einleuchten, dass, wenn man die Kohlenwasserstoffe entfernen könnte, ohne sie mit Flamme zu verbrennen, und dabei gleichzeitig die Temperatur des Ofens niedrig erhielte, so würde sich kein Rauch bilden. Ausführen lässt sich diese Idee praktisch, wenn man die Kohlen stark anfeuchtet, oder sie mit einer Substanz, wie z. B. Baumrinde, mischt, die viel Feuchtigkeit enthält. Die kalt und nass aufgeworfenen Kohlen, die sich bildenden Wassergase und die Verzögerung der Verbrennung in Folge der durch das Anfeuchten stark backenden Kohlen tragen alle dazu bei, die Temperatur an der Oberfläche möglichst niedrig zu halten, die Kohlenwasserstoffe entweichen in Folge dessen unverbrannt, und wirklich schwarzer Rauch bildet sich nicht, jedoch geht ein bedeutender Theil des Brennmaterials unbenutzt verloren. Diese Procedur wird täglich auf dem Herd unzähliger Schmiedefeuer ausgeführt, und jeder kennt die braun und blau in langen Zügen mit Wasserdampf gemischten Gasmassen, die dem Schmiedefeuer stets entweichen.

Man hat zuweilen fälschlich angenommen, dass in dem oben beschriebenen Processe das Wasser zersetzt würde, der freie Sauerstoff sich mit dem Kohlenstoff im Rauch verbinde und die Rauchverhinderung dadurch bewirkt worden sei; dass diese Theorie unrichtig ist, dafür liefert der Umstand den besten Beweis, dass wenn die Kohlenwasserstoffe sich wirklich entzünden, so wird in Gegenwart von Wasserdampf die Bildung von Rauch verstärkt, statt vermindert.

Dass Wasserdampf in Berührung mit glühenden Kohlen zersetzt wird, ist bereits erwähnt worden, und in einigen Schmelzofen macht man hiervon Anwendung, dass aber in Kesselfeuerungen mit irgend welchem Erfolge hiervon Gebrauch gemacht werden könnte, ist noch zu bezweifeln.

Eine andere Methode, die Kohlenwasserstoffe unverbrannt abziehen zu lassen besteht darin, bei vorsichtig regulirtem Schieber so grosse Quantitäten Kohle auf den Rost zu geben, dass dieselben das Feuer theils ersticken und abkühlen; dass man hierbei eine sehr unregelmässige Dampferzeugung haben muss, ist einleuchtend, und da, wie schon erwähnt, alle diese Methoden unvermeidlich eine Brennstoffverschwendung verursachen, so sind sie entschieden verwerflich. Man hat versucht, durch Schliessen des Schiebers während und nach dem Feuern den Zug zu vermindern, und dadurch der Bildung von Rauch vorzubeugen. Hiermit wird man jedoch nur dann den Zweck erreichen, wenn man durch verringerten Zug die Bildung der Flamme unterdrückt, und hat dann dieselben Nachtheile wie in den anderen Methoden. Es ist im Gegentheil weit besser, kurz nach dem Feuern den Zug für eine kurze Zeit zu verstärken, und erreicht man auf diese Weise die sparsamste Verbrennung.

In der Absicht, den abkühlenden Einfluss der Kesselwände auf die Flamme, besonders ehe alle Kohlentheile verbrannt sind, zu verringern, hat man verschiedene Methoden in Anwendung gebracht, die Verbrennung in Flammöfen vor dem Kessel zu vollziehen, und nur die heissen Gase durch und um denselben ziehen zu lassen. In Oefen dieser Art verliert man jedoch die strahlende und einen Theil der leitenden Wärme durch den besonderen Vorbau, und in vielen Fällen kostet die Unterhaltung dieses meist nicht geringe Summen, so dass man doch meist zu den alten Einrichtungen, die Roste für Steinkohlenfeuerung in oder unter den Kessel zu legen, zurückgekommen ist. Theoretisch ist dieser Verzug des Wärmeverbrauches so lange, bis die Verbrennung vollkommen ist, entschieden richtig, jedoch ist man in der praktischen Ausführung meist nicht erfolgreich gewesen, ohne Zweifel schon in Folge des Verlustes an strahlender Wärme.

Das Feuern von Kesseln.

Die Dicke der Kohlenschicht und ihre Vertheilung auf dem Roste müssen nach der Grösse, Qualität und den Eigenschaften des Brennmaterials regulirt werden. Wo Coaks und grossstückige Kohlen, die wenig Kohlenwasserstoffe enthalten, verbrannt werden, lässt sich ein hinreichendes Luftquantum zur vollkommenen Verbrennung durch den Rost einführen, wenn das Feuer etwa 20 Centimeter dick ist. Mit forcirtem Zuge, wie in Locomotiv- und vielen Locomobilkesseln, kann diese Dicke noch bedeutend vergrössert werden, richtet sich aber sehr wesentlich nach der Grösse und Qualität der Kohlen. Bei vorsichtigem Feuern und der Zuführung eines hinreichenden Luftquantums zu den Kohlenwasserstoffen können fast alle halb bituminösen Kohlen ohne Rauch verbrannt werden.

Benutzt man regelmässige Stücke der halb bituminösen Kohlen bester Qualität, so kann man in einer Kesselfeuerung von gewöhnlichen Dimensionen mit einem Feuer von 25 bis 35 cm Dicke die besten Erfolge erzielen, nur muss man Sorge tragen, eine hinreichende, nicht zu grosse Quantität Luft mit den heissen Verbrennungsproducten zu mischen. Die beste Methode, gute, rauchgebende Kohlen dieser Art zu brennen, ist die, die frischen Kohlen auf die Vorplatte zu schütten, wo die Kohlenwasserstoffe durch die in der Feuerung herrschende hohe Temperatur entweichen, und durch Oeffnungen in der Feuerthür mit Luft gemischt sich über dem Feuer entzünden. Beim nächsten Feuern schiebt man diese entgasten Kohlen erst ins Feuer, und legt die neue Kohlencharge auf die Vorplatte. Für diese Methode der theilweisen Entgasung der Kohlen oder Verwandlung derselben in Koks ist eine breite Vorplatte erforderlich, ungefähr 20 cm, oder für grosse Roste mehr. Man benutze die Kohlen nicht in grösseren Stücken, wie etwa Faustgrösse, und feuere alle 20 bis 30 Minuten, wodurch man dann eine ökonomische, wenn auch gerade nicht rapide Verbrennung erzielt. Man wird also nicht das grösstmöglichste Kohlenquantum auf dem Roste verbrennen, wohl aber aus dem verbrannten den grössten Nutzen ziehen.

Sind die Kohlen klein oder gemischt, so lässt sich dieser Plan nicht ausführen, und man muss dann häufiger und in kleineren Chargen alle 10 bis 15 Minuten feuern. Hat man

zwei selbstständige Roste, so bediene man sie abwechselnd, nicht kurz hinter einander, weil man sonst eine unregelmässige Dampfentwickelung und, falls sich Rauch bildet, doppelte Rauchentweichung haben würde. Ist der Rost breit genug, so empfiehlt es sich, die Methode, abwechselnd die Kohlen auf eine Seite des Rostes zu werfen und die andere hell zu lassen, und nicht das ganze Feuer mit frischen Kohlen zu überschütten. Für rapide Dampfbildung hat ohne Zweifel das System, die Kohle gleichmässig und in geringen Quantitäten über den ganzen Rost zu vertheilen, den Vorzug, jedoch ist es nicht so ökonomisch wie das Seitenfeuern, und lässt sich dabei auch die Rauchbildung schwerer verhindern. Zu häufiges Oeffnen der Feuerthür, um kleine Chargen aufzugeben, ist natürlich auch nicht zuträglich. Ueber die Quantität der beim jedesmaligen Feuern aufzuwerfenden Kohlen lässt sich schwer etwas sagen, weil es so wesentlich von der Grösse des Rostes, der Grösse und Qualität der Kohle, dem Zuge, der nöthigen Verdampfung u. s. w. abhängig ist.

Bei Verwendung von Kleinkohlen und Grusskohlen entweichen die Destillationsgase fast im Augenblick des Aufschüttens, und es ist deshalb sehr schwer, das nöthige Luftquantum zu deren Verbrennung zu erreichen, ausgenommen, wenn man die Kohlen anfeuchtet und also die Verbrennung verlangsamt, oder aber in sehr kurzen Zwischenräumen feuert. Beide Methoden lassen sich jedoch nicht anwenden, wo die Grösse der Kessel nur eben für den Bedarf ausreichend ist, weil die grossen Massen kalter Luft, die beim jedesmaligen Oeffnen der Feuerthür einströmen, die schnelle Dampfentwickelung verhindern. Selbst wo hinreichend grosse Kessel vorhanden sind, um eine langsame Dampfentwickelung zu erlauben, ist diese Methode des Feuerns in kurzen Zwischenräumen nicht zu empfehlen, weil das zu grosse Luftquantum, wie wir im vorigen Capitel gesehen haben, der ökonomischen Verbrennung nachtheilig ist.

Um Grusskohle wirklich sparsam verbrennen zu können, muss mechanisches Feuern angewendet werden, wodurch ein regelmässiges kleines Quantum Kohle eingeführt werden kann, ohne gleichzeitig zu viel Luft einströmen zu lassen; ja in manchen mechanischen Heizvorrichtungen ist die Quantität der Luft zu geringe, und das Resultat die Bildung von Kohlenoxydgas als Verbrennungsproduct, und eine Brennstoffverschwendung die Folge. Letzteres ist jedoch selten der Fall,

häufiger kommt es vor, dass das Feuer zu dünn ist, und zu viel Luft unverbrannt durch den Rost gelangt, und zur Abkühlung der Feuergase beiträgt.

In manchen Fällen, wo der Dampfbedarf plötzlichen und grossen Schwankungen unterworfen ist, kann gerade die regelmässige Dampfbildung mit Hilfe einer mechanischen Heizvorrichtung die Hauptursache gegen die Anwendung derselben bilden; von vielen derselben wird noch ferner behauptet, dass die Quantität der verbrannten Kohle in derselben Zeit geringer ist, als beim Handfeuern, ein Umstand, der sich jedoch meist durch schnelleres Feuern, grössere Dicke der Kohlenschicht auf dem Roste und verschiedene Details der Einrichtung verbessern lässt.

Für gute gleichmässige Stückkohle ist sowohl in Rücksicht auf Sparsamkeit, als auch auf Rapidität der Verdampfung das Handfeuern entschieden dem mechanischen vorzuziehen, und lässt sich bei ausreichender Kesselgrösse und gut regulirtem Feuern der Rauch leicht gänzlich verhindern.

Die Grösse der Oeffnungen zum Einlassen der Luft durch die Feuerthür betrage nicht mehr wie 15 mm im Durchmesser wenn rund; sternförmige Oeffnungen, die durch eine runde ebenfalls sternförmig ausgeschnittene und drehbare Scheibe geöffnet und geschlossen werden können, sind zu empfehlen, jedoch bringe man innen an der Thür eine Schutzplatte so an, dass alle Luft dicht über dem Roste in der ganzen Thürbreite einströmt. Die Summe aller Oeffnungen betrage nicht weniger als $^1/_{70}$ der Rostfläche, in manchen Fällen sind jedoch weit mehr Luftöffnungen, bis zu $^1/_{30}$ der Rostfläche, nöthig.

Für manche Kohlen wendet man mit Vortheil gitterartige Vorplatten an, und sind selbst diese nicht ausreichend, das zur Rauchverbrennung nöthige Luftquantum einzulassen, so lasse man nach dem Feuern die Thür für einige Minuten ein wenig offen stehen.

Ob und in wie weit die durch die Feuerthür über dem Roste eintretende Luft während der verschiedenen Verbrennungsstadien zu reguliren ist, darüber existiren verschiedene Ansichten. Da sich kurz nach dem Anfeuern die grössten Mengen Gas bilden, so muss das Luftquantum entweder zu dieser Zeit unzureichend, oder später zu gross sein, besonders wird dies da der Fall sein, wo die Methode des gleichmässigen Feuerns über den ganzen Rost befolgt wird, weil hier die Gasbildung im Anfange sehr stark und sehr schnell vollendet

ist. Befolgt man die Methode des langsamen Entgasens auf der Vorplatte, so ist die Gasentwickelung eine langsamere, und während der ganzen Zeit ist Luft erforderlich. Experimente, die von Peclet mitgetheilt worden sind, über einen Kessel, der mit Luftöffnungen oberhalb des Rostes von 0,16 der freien Rostfläche versehen war, zeigten, dass die durch den Rost eintretende Luftmenge kurz nach dem Feuern eine sehr geringe war, dieselbe nahm zu in dem Verhältniss, wie die Kohlen entgast wurden, und am Ende des Zeitraumes zwischen zwei Chargen betrug dieselbe fast viermal so viel als am Anfang. Während der ganzen Zeit war die durch die Oeffnungen oberhalb des Rostes einströmende Luft fast constant.

Aus diesen Experimenten geht hervor, dass mit Ausnahme beim Entgasungssystem auf der Vorplatte die Luft nur oberhalb des Rostes so lange eintreten sollte, bis die Kohlenwasserstoffe entwichen sind, also etwa 3 bis 4 Minuten nach dem Feuern. Lässt man selbst beim Entgasungssystem die Luft continuirlich eintreten, so verringert man dadurch die Verdampfungskraft des Kessels, ein Umstand, weshalb viele Ingenieure und Kesselheizer gegen die Luftöffnungen in der Feuerthür eingenommen sind.

Diese verringerte Verdampfung ist der Umstand, mit dem man bei sparsamer Rauchverbrennung am meisten zu kämpfen hat. Viele Kessel sind von so unzureichender Grösse, dass selbst bei Einströmung eines kaum zur Rauchverzehrung hinreichenden Luftquantums die Verdampfung niedriger fällt als der Bedarf. Die natürliche Folge ist das Schliessen der Luftöffnungen, und trotzdem ein solcher Kessel mehr Dampf erzeugt, brennt er die Kohlen verschwenderisch. Auf der anderen Seite beweist schon die nöthige Grösse des Kessels, dass man bei Einführung grosser Luftmassen, wie sie zur Rauchverzehrung nöthig sind, in Folge der grösseren Abkühlung mehr verliert, als man gewinnt.

In vielen Fällen findet man sogar, dass durch die vollständige Rauchverbrennung nicht nur kein Vortheil, sondern sogar ein Nachtheil, d. h. ein grösserer Kohlenverbrauch verursacht worden ist. Erklären mag sich dies dadurch lassen, dass die durch die Verbrennung der Gase erzielte Wärme durch den abkühlenden Einfluss der kalten Luft mehr wie aufgewogen ist, oder aber, dass zu viel Luft eingelassen wurde, oder auch, dass die Luft zur unrechten Zeit und am unrechten Orte, für die Mischung nicht passend, mit den Kohlenwasser-

stoffen in Berührung kam. Nach Experimenten von Peclet ergab sich, dass so lange das Volumen von Kohlensäure grösser war, als das des entweichenden freien Sauerstoffs, war der Rauch dick; sobald die beiden Volumina annähernd gleich waren, zeigte sich der Rauch heller und hörte gänzlich auf, als das Volumen des Sauerstoffs doppelt so gross war, als das der entweichenden Kohlensäure. Dies deutet auf ein grosses zur Verdünnung nöthiges Luftquantum für Rauchverzehrung.

Oft findet man, dass, nachdem eine Feuerung für Rauchverzehrung geändert wurde, es nöthig ist, den Rost zu verkürzen, um dieselbe relative Verdampfung pro Gewichtseinheit Kohle zu erzielen wie früher. In vielen Kesseln sind die Roste von vornherein zu lang; ist ein Rost über 2 m lang, so entzieht sich der hintere Theil desselben gänzlich der Controle des Heizers. Zwar wird man auf diesem Roste mehr Kohle brennen können, als wenn er kürzer wäre, jedoch ist die relative Verdampfung eine geringere. Es giebt eine Unzahl von Kesseln mit Rosten von 2 m Länge, die mit grossem Vortheil um 25 bis 50 cm abgekürzt werden könnten. Je kürzer ein Rost ist, um so sparsamer lässt sich die Verbrennung einrichten, und die Grenze der Verkürzung vom ökonomischen Standpunkte aus ist erst dann erreicht, wenn man durch weiteres Verkürzen eine zu rapide Verbrennung der Kohle auf dem Roste erreichen müsste, um das nöthige Dampfquantum zu erzeugen.

Es lassen sich sogar Fälle aufführen, wo die Schwierigkeit grosse, vorzüglich lange Roste gleichmässig bedeckt zu erhalten, sich mit verstärktem Zuge so sehr vergrössert, dass trotz desselben und der verursachten grösseren Verbrennung die Verdampfung abnimmt. Dies wird durch die Masse kalter, durch den Rost eintretender Luft verursacht, die das Feuer mehr abkühlt als in Folge der grösseren Verbrennung demselben an Wärme zugeführt wird. In solchen Fällen wird man durch Abkürzen des Rostes oder Verminderung des Zuges sowohl ökonomischer als auch mit weniger Mühe das nöthige Dampfquantum erzeugen können.

In Kesseln mit Feuerung im Flammenrohre findet man oft den Rost zu hoch gelegt; in der Absicht einige Centimeter an Rostbreite zu gewinnen, giebt man die Vortheile eines dicken Feuers und eines hohen Verbrennungsraumes zur besseren Mischung der Luft mit den Kohlenwasserstoffen auf.

Für Kessel mit Unterfeuerung kann man die Entfernung des Rostes vom Kesselboden je nach Umständen variiren, die

Grösse des Kessels, die Art der Kohlen, Intensität des Zuges und Dicke des Feuers bestimmen dieselbe. Eine Entfernung von 35 bis 40 cm von der Oberfläche des Feuers bis zum Kesselboden ist in den meisten Fällen ein gutes Mittel. Eine zu grosse Entfernung hat einen Verlust an strahlender Wärme im Gefolge; bringt man das Feuer dem Boden zn nahe, so kühlt sich die Flamme zu schnell ab, die Bodenbleche leiden leicht, und die Verbrennung ist nicht so lebhaft und mehr zur Rauchbildung geneigt.

Das Gewicht an Kohlen, die pro Stunde und Quadratmeter auf dem Roste verbrannt werden, bezeichnet man als den Grad der Verbrennung, derselbe richtet sich nach dem Zuge und der Brennbarkeit der Kohlen. In Folge dessen geben verschiedene Kessel natürlich verschiedene Resultate, je nachdem der Zug ein guter oder schlechter Schornsteinzug, oder aber forcirter Zug, wie in Locomotiven ist. Folgendes sind einige Mittelwerthe der Verbrennung.

Halbbituminöse Kohlen	Kilo pro Quadratmeter pro Stunde
Geringste Verbrennung im Cornishkessel . . .	20 Kilo
Gewöhnliche „ „ „ . . .	50 „
„ „ in Fabrikkesseln mit innerer und äusserer Feuerung	50 bis 90 Kilo
Gewöhnliche Verbrennung in Schiffskesseln . .	70 „ 130 „
„ „ „ Locomotivkesseln mit Dampfgebläse	300 bis 650 „

Verbrennung der verschiedenen Kohlensorten im Versuchskessel auf der kaiserlichen Werft zu Wilhelmshafen. (Siehe Seite 313.)

	Kilo pro Quadratmeter Rost pro Stunde
Westphälische Gaskohlen, Mittel aus 7 Versuchen	109,27
Westphälische Fettkohlen, Mittel aus 38 Versuchen	89,6
Westphälische Esskohlen und magere Kohlen, Mittel aus 13 Versuchen	90,7
Westphälische Kohlengemische, Mittel aus 5 Versuchen	83,4
Oberschlesische Kohlen, Mittel aus 3 Versuchen .	121,1
Englische Kohlen „ „ 8 „ .	101,32

Der grösste Verbrennungsgrad, der sich mit halbbituminösen Dampfkohlen und Lufteinströmung durch den Rost und gleichzeitig über dem Feuer bei Schornsteinzug erreichen lässt, ist 200 Kilo, jedoch verringert sich die relative Verdampfungskraft rapide bei einer Verbrennung von mehr als 150 Kilo pro Quadratmeter. Für wenig bituminöse Dampfkohlen lässt sich bei Luftzuführung nur durch den Rost selten eine höhere Verbrennung als 170 Kilo pro Quadratmeter Rostfläche erreichen, schon hierbei leiden jedoch die Roststäbe sehr stark, und die Verdampfung nimmt bei mehr als 125 Kilo rapide ab.

Fünfzehntes Capitel.

Die Heizfläche.

Die Verdampfungskraft eines Kessels ist wesentlich von der Wirksamkeit der Heizfläche abhängig, welche die Bestimmung hat, die durch die Verbrennung der Kohlen ausserhalb derselben erzeugte Wärme an das im Innern befindliche Wasser zu übertragen. Die Wärme kann auf zwei Arten übertragen werden, entweder durch Strahlung oder durch Leitung, und rührt dieselbe von drei verschiedenen Ursachen her, erstens die strahlende Wärme von den auf dem Roste glühenden Massen, zweitens die durch die Flamme erzeugte, und drittens die Wärme der heissen Verbrennungsgase. Hinter der Feuerbrücke ist nur noch leitende Wärme von der Flamme und den Gasen wirksam.

Die Wärmemenge, welche von einem Körper durch Strahlung auf einen anderen übertragen wird, ist indirect proportional dem Quadrate der Entfernung beider von einander. Fallen die Wärmestrahlen nicht senkrecht, sondern geneigt auf eine Fläche, so vermindert sich die Wirkung derselben.

Unter Leitung versteht man die Mittheilung von Wärme, und zwar kann diese unter den Theilen eines Körpers selbst, oder aber auch zwischen verschiedenen Körpern, die mit einander in Berührung sind, stattfinden. Hiernach kann man innere und äussere Wärmeleitung unterscheiden, und ist erstere in Metallen weit stärker, als die Leitung zwischen Wärmequelle einerseits und dem die Wärme aufnehmenden Wasser andererseits.

Die Wirksamkeit einer Heizfläche kann erklärt werden als das Verhältniss zwischen der Wärme, welche dieselbe

wirklich vermittelt, zu der vorhandenen Gesammtwärme, und in dieser Weise ist die Wirksamkeit in diesem Abschnitte stets aufzufassen. Die Umstände, von denen dieselbe abhängt, sind:

1. Die Grösse der Fläche, auf die die Wärme wirksam ist, und die mit dem zu erwärmenden Wasser in Berührung steht.
2. Die Stellung und Anordnung dieser Fläche sowohl in Bezug auf die Wärmequelle als auch auf das zu erhitzende Wasser.
3. Die Eigenschaften und der Zustand sowie die Dicke des Körpers, welcher die Heizfläche bildet.
4. Der Temperaturunterschied zwischen den heissen Gasen auf der einen, und dem Wasser und Dampf auf der anderen Seite der Heizfläche.
5. Die zur Wärmevermittelung erlaubte Zeit.
6. Die Eigenschaft des Heizmaterials sowie die Weise, in der die Wärme übertragen wird; ob von glühenden Kohlen, der Flamme, oder den heissen Verbrennungsgasen, und ob die Wärmemittheilung durch Strahlung oder Leitung geschieht.

1. Bei Berechnung der Heizfläche eines Kessels ist es üblich, die Gesammtfläche des Verbrennungsraumes, der Züge, Rohre und anderen Theile in Rechnung zu ziehen, die einerseits von der Flamme berührt werden, und auf der anderen Seite mit dem Wasser in Berührung stehen, und die Verdampfungskraft des Kessels als dieser Heizfläche proportional zu bestimmen. Dass diese Methode nur dann richtig ist, wenn jede Flächeneinheit, die wir in Rechnung gezogen haben, gleiche Uebertragungskraft besitzt, ist einleuchtend. Da dies jedoch, wie wir bald zeigen werden, durchaus nicht der Fall ist, so wird die Wirksamkeit nicht im directen Verhältniss mit der Grösse der Heizfläche wachsen, trotzdem bis zu gewissen Grenzen einer grösseren Heizfläche eine erhöhete Wirksamkeit entsprechen wird, sondern dieselbe ist noch wesentlich von den übrigen Umständen abhängig.

2. In Folge des geringen Leitungsvermögens des Wassers ist die Einwirkung von Wärme auf die Oberfläche einer Wassermasse fast ohne alle Wirkung auf die Erwärmung des ganzen Volumens. Brennbare auf Wasser schwimmende Flüssigkeiten können auf der Oberfläche desselben verbrannt werden, ohne die Temperatur desselben um mehr als 1^0 zu erhöhen, während dieselbe Quantität, wenn unter dem Wasser im passenden

Gefässe verbrannt, im Stande gewesen sein würde, sämmtliches Wasser zu verdampfen.

Um die grösste Wirkung zu erzielen, muss daher die Wärmequelle unter dem Boden eines Gefässes angebracht werden, in welchem Wasser verdampft werden soll; oder befindet sich die verwendbare Wärme in einem von Wasser umgebenen Gefässe, so soll die Wärme am oberen Theile desselben wirksam sein. In beiden Fällen verbreitet sich die Wärme in der Flüssigkeitsmasse durch Leitung. Wird Wasser erhitzt, so vermindert sich das Gewicht desselben Volumens, die wärmeren Wassertheile steigen nach oben, und ihr Platz wird von kälteren eingenommen, die dadurch mit den erhitzten Wänden in Berührung kommen. Wird dagegen Wasser vom Boden eines Gefässes aus erhitzt, mit dem es in Berührung ist, so haften die heissen Wassertheile am Boden, und vermöge des geringen Leitungsvermögens des Wassers bleibt das ganze andere Volumen kalt. Als Illustration dieses Umstandes sei aus Tredgold's Werk über die Dampfmaschine erwähnt, dass Armstrong bei einem Experimente folgende Resultate erhielt. Ein cubisches metallenes Gefäss wurde in Wasser eingesenkt und von innen erhitzt, es ergab sich, dass die obere, horizontale Fläche zweimal so viel Dampf erzeugte, wie jede verticale Fläche, und dass vom Boden überhaupt kein Dampf erzeugt wurde. Diese auffallenden Unterschiede erklären sich durch die Eigenschaft der Dampfblasen, sich schwer von einer verticalen Fläche loszutrennen, und die Unmöglichkeit derselben, in horizontaler Richtung sich an einer Fläche entlang zu bewegen. Wurde dieses Gefäss ein wenig geneigt, so zeigte sich eine höhere Verdampfung überhaupt, die nach oben gerichteten Seiten gaben ihre Dampfblasen leicht ab, während dieselben an der nach unten geneigten Seite so wenig Bewegung zeigten, dass diese Fläche überhitzt wurde.

Eine ebene horizontale Fläche, die nicht zu weit von dem Roste entfernt ist, wird gewöhnlich als die vortheilhafteste Verdampfungsfläche angesehen. Macht man dieselbe jedoch concav gegen die Feuerseite, so ist sie noch mehr geeignet die Strahlung aufzunehmen; bietet dem kalten Wasser bessere Gelegenheit mit der erwärmten Oberfläche in Berührung zu kommen, und die aufsteigenden erwärmten Wassertheile zu ersetzen, wodurch Circulation erzeugt wird; von der convexen Oberfläche entfernt sich ferner der Niederschlag leichter und dieselbe ist stärker und haltbarer, als die ebene Fläche.

Der ebenen horizontalen Fläche in Wirksamkeit folgend ist die gegen das Feuer geneigte Fläche. Dieselbe ist mehr geeignet die strahlende Wärme desselben nutzbar zu machen als die verticale, und die Dampfblasen auf der anderen Seite entfernen sich leichter. Aus diesem Grunde sowohl als auch, um die sonst meist zu engen Wasserräume zu erweitern thut man gut, die inneren Wände von Locomotivfeuerbüchsen etwas nach innen zu neigen, trotzdem man dadurch die Decke verkleinert. In Kesseln nach dem Locomotivsystem ist übrigens die Rohrwand in der Feuerbüchse als ebenso wirksame Heizfläche anzusehen, wie die Feuerkastendecke; da die Flamme fast senkrecht gegen dieselbe wirkt, so kann man dadurch den Nachtheil, der durch das Anhaften der Dampfblasen verursacht wird, als überwunden ansehen. Die Wirksamkeit der Decke leidet sehr oft durch zu enge gestellte Verankerungen, Stehbolzen und durch Ansammlung von Kesselstein.

Nach dem oben Gesagten wird es einleuchten, dass eine unterhalb des Feuers gelegene horizontale Fläche als Heizfläche nutzlos und deshalb in der Berechnung nicht zu berücksichtigen ist. In Kesseln mit Unterfeuerung ist die Form der Heizfläche gewöhnlich convex gegen das Feuer. Von vielen wird diese Form als weniger günstig bezeichnet als die concave, wie in den Boden der alten Kofferkessel, weil sie nicht so vortheilhaft für die Aufnahme der strahlenden Wärme ist, nicht dieselbe Leichtigkeit für Circulation bietet, und sich darin leichter Niederschläge ansammeln. Trotzdem scheinen die Resultate, die man in der Praxis von solchen Flächen erhalten, diese Annahme nicht zu beweisen, und wenn man in Kesseln mit Unterfeuerung häufig nicht so günstige Resultate erzielt als man wohl erwarten dürfte, so liegt der Grund hierfür meist in einer Wärmeverschwendung im Heizraum.

Wo das mit Wasser gefüllte Gefäss von der Wärme umgeben ist, wie in horizontalen Wasserrohrkesseln und den Siedern der sogenannten Elephantenkessel, kann man wegen des geringen Leitungsvermögens des Wassers und des sich ansammelnden Dampfes die obere Seite nicht als Heizfläche in Rechnung ziehen. Die Wirksamkeit dieser gänzlich von der Wärme umgebenen Rohre sollte bei hohem Druck bedeutend zunehmen, da der vom Dampf eingenommene Raum sich in demselben Verhältniss verringert, als der Druck zunimmt, und die Circulation verbessert wird. Die Seiten solcher Rohre stehen ihrer Wirksamkeit nach etwa zwischen

dem oberen und unteren Rohrtheile, letzterer darf als vollkommen günstig für Aufnahme und Transmission der Wärme angesehen werden. Nennt man die Wirkung im oberen Viertel des Rohres 0, die des unteren Viertels 1, so ist die der beiden Seiten ½ und die Summe $\frac{0 + ½ + ½ + 1}{4} = ½$, oder in anderen Worten, die Wirksamkeit als Verdampfungsfläche ist für ein Rohr unter den Umständen, wie oben angenommen, nur halb so gross als dieselbe sein würde, wenn das ganze Rohr dieselbe Wirkung hätte, wie das untere Viertel. In derselben Weise wird man finden, dass die effective Heizfläche eines Rohres mit innerer Feuerung nur halb so gross ist als die wirkliche Oberfläche desselben. In einfachen cylindrischen Kesseln mit äusserer Feuerung ist nur die untere Hälfte des Umfanges der Wirkung des Feuers ausgesetzt, während in Röhrenkesseln mit innerer Feuerung die ganze Rohrfläche hinter der Feuerbrücke als Heizfläche anzusehen ist, wenn dieselbe rein und frei von Asche gehalten wird. Nehmen wir an, das Verhältniss der Durchmesser zwischen einem Kessel mit äusserer und einem Rohre mit innerer Feuerung sei 2:1, so haben beide für eine gegebene Länge dieselbe Heizfläche, jedoch wird das Verhältniss der effectiven Heizfläche sich zu Gunsten des Kessels mit äusserer Feuerung wie 3:2 gestalten.

Verlassen die Flammen und heissen Gase den Rost, so kommen sie mit der Heizfläche in Berührung. Letztere kann von sehr mannigfaltiger Gestalt sein, sie kann aus der inneren oder äusseren Fläche von Rohren der verschiedensten Dimensionen bestehen, kann von eliptischer, kreisförmiger oder rechteckiger Gestalt sein, mag aus dem Verbrennungsraume, aus horizontalen, verticalen oder geneigten Wasserrohren, oder den flachen oder gewölbten Enden und gekrümmten Flächen des Kesselmantels bestehen. Wie wir bereits gesehen, bildet der obere Theil horizontaler Rohre mit innerer Feuerung die wirksamste Heizfläche, weil die Flamme und die heissen Gase auf der einen Seite in enge Berührung mit derselben kommen, und der Dampf von der anderen Seite leicht entweichen kann. Die innere obere Seite solcher Rohre hält sich stets in Folge der intensiven Hitze und des starken Zuges verhältnissmässig rein, und auf der Wasserseite werden die sich ablagernden Unreinigkeiten durch die heftige Bewegung des Wassers meist fortgerissen, und setzen sich an anderen ruhigeren Stellen des Kessels ab. Um die Wirksamkeit nicht zu beeinträchtigen, ist

es nothwendig, vorzüglich in Multitubularröhrenkesseln hinreichend Platz zwischen denselben zu lassen; etwa $^1/_3$ des Durchmessers ist ausreichend.

Um das Reinigen besonders enger Röhren von aussen zu erleichtern, thut man gut, dieselben in verticalen und horizontalen Reihen anzuordnen; allerdings lassen sich in diesem Falle nicht so viele Rohre in denselben Raum bringen, jedoch ist, besonders bei schlechtem Wasser, die Reinlichkeit der Heizfläche fast ebenso wichtig, wie die Grösse derselben.

In vielen Locomotiven und anderen ähnlichen Röhrenkesseln werden die Rohre oft übermässig dicht gestellt, um möglichst viel Heizfläche zu erzielen; dabei wird jedoch oft vergessen, dass Heizfläche nur eine Seite der Frage, die Wirksamkeit derselben aber die andere ist. Theoretisch betrachtet sollten sich die Zwischenräume zwischen den Rohren von unten nach oben im Kessel erweitern. Ordnet man die Rohre in horizontalen Reihen an, so würde man, um diesen Zweck zu erreichen, den Durchmesser der Rohre nach oben hin, also in jeder Horizontalreihe verkleinern müssen, jedoch ist dies für die Praxis durchaus nicht anzurathen. Wie bereits erwähnt, ist die untere Seite von Rohren und Flammrohren für die Dampfentwickelung fast nutzlos, die Wärme wirkt hier weniger, die Dampfblasen können schwer entweichen, und innen in den Rohren sammelt sich sehr bald eine Schicht Asche an, welche der Wärmeleitung durchaus nicht günstig ist; auch findet man, dass sich besonders an der unteren Seite von Flammrohren eine dickere Kesselsteinkruste ansetzt als oben, weil das Wasser an dieser Stelle meist sehr ruhig ist.

Die Art und Weise, in der die Wärme an das Metall übergeht, wenn heisse Gase durch ein horizontales Rohr streichen, ist als eine Mittheilung durch Leitung anzusehen. Nimmt man an, dass alle die Gase, welche in ein Rohr eintreten, von derselben Temperatur sind, so müssen diejenigen Gase, welche mit dem oberen Theile des Rohres in Berührung kommen, einen Theil ihrer Wärme abgeben, und in Folge der Abkühlung niedersinken, weil sie schwerer sind als die übrigen, trotzdem die ganze Masse der Gase sich in rapider Bewegung befindet, und somit das Niedersinken etwas stört. Es entsteht hierdurch eine gewisse Strömung und stets andere Gastheile kommen mit der Rohrwand in Berührung. Hierdurch mag sich die drehende und wellenförmige Bewegung der Flamme erklären, die man oft in horizontalen Flammrohren bemerkt.

Es erscheint ferner rathsam, den Rohren eine nach hinten fallende Lage zu geben, anstatt dieselben horizontal anzuordnen, um die Berührung der Gase mit der Rohrwand zu erleichtern. Ein sehr geringer Theil der Wärme wird von den schnell passirenden heissen Gasen durch Strahlung abgegeben, in Rohren von sehr kleinem Durchmesser, welche am Boden mit einer dünnen Russ- und Aschenschicht bedeckt sind, kann letztere den heissen Gasen einen beträchtlichen Theil an Wärme entziehen, und diese wieder durch Strahlung an den oberen Theil des Rohres abgeben.

In horizontalen Flammrohren hat man verschiedene Methoden angewendet, um den heissen Gasen mehr Wärme zu entziehen als durch blosse Strahlung oder Leitung den in einer Masse das Rohr durchstreichenden Verbrennungsgasen durch die ebenen Wände entzogen wird, indem man den Zug unterbricht und dadurch neue Gastheilchen mit der Heizfläche in Berührung bringt. Am erfolgreichsten geschieht dies durch seitliche Erweiterungen im Rohr oder durch das Einsetzen von Rohren vertical zur Längsaxe des Hauptrohres. Letztere, besonders die von Galloway, verbessern gleichzeitig die Circulation und verstärken das Flammrohr. Durch derartige Anordnungen muss nun natürlich stets der Querschnitt verringert und somit der Zug etwas beeinflusst werden, wodurch zuweilen nicht eine erhöhete Verdampfung, sondern im Gegentheil eine geringere die Folge ist. Ferner ist, selbst bei Flammrohren von grossem Durchmesser, das Reinigen erschwert, und schon aus diesem Grunde findet man oft nach einiger Zeit, dass alle durch die Querrohre gebotenen Vortheile völlig durch die damit verbundenen Nachtheile aufgehoben werden, und sowohl die Schnelligkeit und Billigkeit der Verdampfung durch deren Anwendung beeinflusst wird. Für Rohre von geringem Durchmesser sind dieselben deshalb nicht anwendbar. Als wirklich effective Heizfläche kann nur die dem Feuer zugekehrte Seite dieser Rohre und Taschen angesehen werden, und um das Entweichen der Dampfblasen zu erleichtern, empfiehlt es sich, die Rohre nach oben zu erweitern und dieselben stets geneigt und niemals horizontal anzuordnen, weil diese Lage sowohl das Entweichen des Dampfes fast unmöglich macht, als auch der Circulation im Kessel in keiner Weise nützlich ist.

Ziehen Verbrennungsgase durch verticale Rohre, so haben die durch Berührung mit den kalten Wänden gekühlten Gastheilchen kein Bestreben, anderen wärmeren Platz zu machen,

und die Ausnutzung der Wärme ist folglich eine geringere, weil die im Innern des Rohres sich befindlichen Gastheile keine Gelegenheit finden, ihre Wärme abzugeben. Aus diesem Grunde sind für verticale Kessel denselben durchkreuzende Wasserrohre unbedingt nothwendig, um den Kessel zu einem ökonomischen Dampferzeuger zu gestalten. Bei Anordnung derselben ist besonders darauf zu achten, diesen Rohren stets eine bedeutende Steigung nach oben zu ertheilen, und keine horizontalen Rohrstücke zu haben, weil der an der unteren Seite des Rohres rapide erzeugte Dampf nach oben steigt und von hier aus sofort leicht entweichen können muss. In der Vertheilung derartiger Wasserrohre in horizontalen und verticalen Flammrohren achte man darauf, dieselben nicht in einer Reihe, sondern stets einander kreuzend anzuordnen, damit die Richtung der Gase möglichst oft gebrochen, und stets neue Theile mit den Heizflächen in Berührung gebracht werden. Wie bereits mehrfach erwähnt, verbessern diese Wasserrohre die Circulation im Kessel und tragen dadurch indirect zur Verbesserung der Heizfläche desselben bei, indem stets neue Wassertheile mit der Heizfläche in Berührung kommen.

3. Ist die Verdampfskraft eines Kessels abhängig von den Eigenschaften, der Beschaffenheit und der Dicke des Materials, welches die Heizfläche bildet.

In einer homogenen Tafel ist der Widerstand gegen innere Leitung direct proportional der Entfernung, welche die Wärme zu durchdringen hat, oder direct proportional der Dicke der Platte und umgekehrt proportional dem Temperaturunterschiede auf beiden Oberflächen. Die Wärmemenge, welche demnach in einer Stunde durch einen Quadratmeter Heizfläche übertragen wird, ist in Wärmeeinheiten ausgedrückt:

$$Q = \frac{T - T'}{P \,.\, S},$$

worin

T die Temperatur der heissen Gase in Graden Celsius
T' die Temperatur des Wassers im Innern „
S die Blechdicke in Millimetern,
P ein Coefficient des innern Wärmeleitungswiderstandes

ist, der für verschiedene Materialien verschieden, von Peclet durch Experimente festgestellt worden ist. Diese Zahlen haben jedoch für den praktischen Gebrauch bei Dampfkesseln, wie wir auch später sehen werden, keinen Werth.

Drückt man den Widerstand gegen Oberflächen oder äussere Leitung durch die Coefficienten H und W aus, welche

demnach den Widerstand gegen die Wärmeabsorption auf der einen, und den gegen die Wärmeabgabe an das Wasser auf der anderen Seite darstellen, so ist der Widerstand gegen die äussere und innere Wärmeleitung zusammengefasst durch $PS + H + W$ ausgedrückt und die übertragene Wärmemenge stellt sich zu

$$Q = \frac{T - T'}{PS + H + W}.$$

Aus diesem Ausdrucke geht hervor, dass die Wärmevermittelung einer Blechplatte mit der Dicke derselben und mit dem Widerstande abnimmt, oder um so grösser ist, je grösser das Wärmeabsorptions-, Emissions- und Wärmeleitungsvermögen ist; dass jedoch der Widerstand nicht im einfachen Verhältniss mit der Dicke oder dem Leitungsvermögen wächst. Je kleiner P und S und je grösser H und W werden, um so unbedeutender wird der Einfluss der Dicke. Für die im Kesselbau gebräuchlichen Metallstärken ist übrigens das Leitungsvermögen von der Dicke fast unabhängig, letztere braucht nicht benutzt zu werden. Im Durchschnitt überträgt ein Quadratmeter Heizfläche pro Stunde für jeden Grad Temperaturdifferenz von 45 bis 50 Wärmeeinheiten.

Peclet, welcher annimmt, dass alle Metalle, wenn deren Oberflächen matt sind, fast gleiches Leitungsvermögen besitzen, führt zwei Experimente auf, welche diese Annahme zu beweisen scheinen. Das eine wurde mit einem gusseisernen, das andere mit einem kupfernen Kessel ausgeführt. Beide wurden einem intensiven Feuer ausgesetzt und befanden sich direct in der Flamme, das Resultat war für beide dasselbe, etwa 100 Kilo Dampf pro Quadratmeter und Stunde.

Vorsichtig ausgeführte Experimente sowohl wie die Resultate der Praxis beweisen, dass nach wenigen Tagen und mit dem gewöhnlichen unreinen Speisewasser kaum ein merklicher Unterschied zwischen der Verdampfungskraft kupferner, messingener und eiserner Heizflächen zu constatiren ist, trotzdem deren Wärmeleitungsvermögen sich wie 74 zu 24 zu 12 verhalten, und dass, soweit ökonomische Brennmaterialverwendung in Betracht kommt, durch die Benutzung des theuren Materials Kupfer kein Vortheil erreicht werden kann. Dasselbe kann als allgemein giltig für geringe Dicken-Unterschiede desselben Materials hingestellt werden. Trotzdem sich die Verdampfungskraft neuer Kessel die aus 10 mm starken Blechen hergestellt

sind, in der ersten Zeit günstiger stellt, als die solcher aus 12 mm dicken Blechen, so nimmt doch dieser Unterschied sehr schnell ab, wenn die eine oder andere Seite des Bleches mit einer Schicht überzogen ist. In den meisten Fällen sind es bei Kesseln beide Flächen; Rostschichten, mineralische Niederschläge und Fett auf der einen Seite, Russ, Flugasche und die Producte der Destillation der Kohlen auf der anderen, hindern die Leitung der Wärme sehr bedeutend, und es ist schliesslich das Leitungsvermögen dieser Unreinigkeiten, welches das Maass für die Verdampfungskraft abgiebt. Leider sind nun alle diese Stoffe so schlechte Wärmeleiter, dass der Widerstand, den dieselben der Transmission der Wärme innen und aussen entgegensetzen, so bedeutend überwiegt, dass das Leitungsvermögen der zwischenliegenden Metallschicht fast ohne alle Einwirkung ist, oder in den Ausdrücken unserer Formel gesprochen, der Werth von P und S für Kupfer oder Eisen ist im Verhältniss zu H und W so gering, dass die ersteren kaum der Berücksichtigung werth sind.

Die Schnelligkeit der inneren Leitung hängt wesentlich von der Homogenität der Metallplatten ab, wo Bleche sehr schieferig und blätterig sind, wird aus der inneren Leitung gewissermaassen eine Reihe von Oberflächenabsorptionen und die Wirkung der Leitung dadurch wesentlich beeinflusst. Es ist eine wohlbekannte und unbestrittene Thatsache, dass dicke Kesselbleche von 12 bis 14 mm besonders im Feuer viel leichter durch Brüche und Risse untauglich werden, wie dünnere Bleche von 7 bis 10 mm. Dies wird zuweilen als ein Beweis der geringeren Verdampfungskraft dicker Bleche angegeben; jedoch häufig findet man aus oben angegebenen Ursachen, dass die pro Flächeneinheit verdampfte Wassermasse wenig oder nicht geringer ist. Die Art und Weise, in welcher dicke Bleche durch die Hitze beschädigt werden, ist wie folgt: Ist die Platte vollkommen homogen und gleichmässig, so ist die Leitung innerhalb zwischen den beiden Oberflächen eine gleichförmige, die Temperatur wird auf der Feuerseite am höchsten sein und nach der Wasserseite zu allmälig abnehmen; der Unterschied wird der Metalldicke proportional sein. Nehmen wir an, die Wasserseite werde constant auf einer gewissen Temperatur erhalten, wie dies bei reiner Oberfläche und gleichbleibendem Dampfdruck der Fall ist, so wird die Temperatur auf der Aussenseite um so höher sein, je dicker die Platte ist, und letztere wird also um so mehr einer Schädigung durch plötzliche

Abkühlung unterworfen sein. Ist die innere Seite von Kesselstein bedeckt, die Blechplatte nicht homogen, sondern blätterig, oder aber, statt der einfachen Blechstärke eine doppelte, wie in einer Nietnaht, direct über dem Feuer gelegen, so nimmt der Widerstand gegen das Wärmeleitungsvermögen sehr bedeutend zu, die äussere Blechoberfläche kann gefährlich warm werden, und wird bald untauglich. Illustrationen hierfür sind geplatzte Blasen in Blechen, und das Reissen von Blechen in den Nietnähten. Früher, wo mit dem Walzen gesunder Blechplatten von grösseren Dicken ganz bedeutende Schwierigkeiten verbunden waren, mögen schiefrige Bleche viel dazu beigetragen haben, das angenommene geringe Leitungsvermögen dicker Metallplatten zu verursachen, heute jedoch können Kesselbleche von 20 mm und mehr Dicke mit Zuverlässigkeit und ohne besondere Schwierigkeit angefertigt werden.

Es wird oft behauptet, dass in Amerika, wo eiserne und stählerne Feuerkastenbleche ausgedehnte Anwendung finden, die dickeren Bleche allmälig durch die Wirkung der Wärme auf etwa 8 mm reducirt werden, hier jedoch stehen bleiben, und es erscheint als ob diese Dicke die Wärme gerade so schnell vermittelt, dass die Temperatur des Bleches auf der Feuerseite zu geringe bleibt, um einen verzehrenden Einfluss der Flamme fühlbar zu machen. Wegen des hohen inneren Leitungsvermögens des Kupfers, tritt dieses Verzehren in geringerem Maasse bei kupfernen Feuerkistenblechen auf; einer Blechdicke von 8 mm in Eisen oder Stahl würden 11 mm in Kupfer etwa gleichwerthig sein.

Es ist jedoch selbstredend, dass ganz abgesehen vom Leitungsvermögen, das Verzehren der Bleche von den Unreinigkeiten im Wasser und Brennmaterial, den örtlichen Einflüssen des Zuges und anderen Ursachen abhängig sein muss.

Es ist die Ansicht vieler erfahrener Kesselinspectoren, dass sich auf dicken, im Feuer liegenden Blechen, gleichviel ob horizontal oder vertical, angeordnet, eine dickere Kesselsteinschicht ablagert, als auf gleichartigen dünneren Blechen unter sonst denselben Verhältnissen. Dieser Umstand lässt sich nur dadurch erklären, dass die Dampfentwickelung über den dicken Blechen weniger stürmisch ist, und würde demnach auf ein geringeres Leitungsvermögen derselben schliessen lassen.

4. Wenn die heissen Verbrennungsgase mit der ersten Flächeneinheit der Heizfläche in Berührung kommen, so geben dieselben einen Theil ihrer Wärme an diesen ab und haben

also bei Berührung mit der nächsten Flächeneinheit schon eine geringere Temperatur, diese allmälige Temperaturabnahme findet so lange statt, bis die Gase am Ende ihres Laufes mit einer gewissen Temperatur entweichen, die höher sein muss als die des im Innern befindlichen Wassers. Gewöhnlich wird angegeben, dass die auf diese Weise übertragene Wärmemenge im directen Verhältniss zur Temperaturdifferenz der Gase und des Wassers in jedem beliebigen Falle sei. Dies kann jedoch nur unter ganz besonderen Umständen richtig sein; wenn die heissen Gase die Eigenschaft besässen, ihre Wärme, die allmälig geringer wird, unter ganz denselben Verhältnissen und in gleichmässiger Weise abzugeben, und wenn der Widerstand gegen die Mittheilung der Wärme während des ganzen Weges derselbe bliebe, so würde allerdings die vermittelte Wärmemenge im Verhältniss zur Temperaturdifferenz stehen. Nehmen wir an, die Gase treten mit einer Temperatur von 980° C. in das Rohr ein, wir theilen den ganzen Weg der Gase in 6 Theile und berechnen die Temperatur und die übertragene Wärmemenge im Mittel für jeden Theil, so erhalten wir, die Temperatur des Wassers zu 100° C. festgesetzt, für den ersten Theil

$$\frac{980 - 100}{6} = 147^0$$

als die mitgetheilte Wärme.

Die Gase treten aus diesem Theile mit einer Temperatur von $980 - 147 = 833^0$ aus und für das nächste Sechstel haben wir sonach

$$\frac{833 - 100}{6} = 122^0.$$

Im hierauf folgenden Theile haben die Gase die Temperatur $833 - 122 = 711$ und so fort, bis sie, wie in unten stehender kleiner Tabelle gezeigt ist, zuletzt mit 454° C. in den Schornstein abziehen.

980	833	711	604	524	454
147	122	102	85	70	

Die Art und Weise der Mittheilung ist jedoch auf der ganzen Länge des Rohres nicht gleichartig. An dem Ende des Rohres, wo dieselben eintreten, wird die Wärme direct durch Berührung von den Gasen an die Wände abgegeben.

Erstere kühlen sich dadurch ab, und in den nächstfolgenden Theilen muss die Wärme in den Gasen selbst erst vom inneren warmen Kern hergeleitet werden. Da die Transmission der Wärme durch Strahlung und Leitung erstens Zeit erfordert, und zweitens in heisser Luft und in transperenten Gasen fast Null ist, so erscheint es, als ob die Wärme am Ausströmungsende fast nur durch directe Mittheilung der mit dem Metalle in Berührung befindlichen Gastheile auf diese übertragen werden könnte. Hierauf gestützt wird die Verdampfungskraft der entgegengesetzten Enden eines Rohres nicht im directen Verhältniss zur Temperaturdifferenz stehen, sondern am kälteren Ende geringer sein, und die Wärmemenge, die am Ende des Rohres dem Wasser mitgetheilt wird, weniger betragen, als die in obiger Tabelle angegebene, während die abziehenden Gase eine höhere Temperatur besitzen werden.

Ist dies schon der Fall, wenn wir nur heisse Gase als das heizende Medium voraussetzen, so wird es in weit höherem Grade da der Fall sein, wo die Flamme in directe Berührung mit der Heizfläche tritt, wie fast stets in dem Theile eines Kessels, der der Feuerung am nächsten liegt. Die Flamme hat als heizendes Medium vor den heissen Gasen vieles voraus, besonders unter den Verhältnissen, die hier zur Sprache kommen.

Nach Angaben vom Professor Rankine nimmt die Mittheilung der Wärme durch Leitung zwischen heissen Gasen einerseits und Wasser andererseits in grösserem Maasse zu, wenn der Temperaturunterschied zwischen den beiden sehr bedeutend ist, und wird sogar dem Quadrat des Temperaturunterschiedes proportional. Die Wärmeübertragung für Platten und Rohre pro Quadratmeter Oberfläche pro Stunde lässt sich in Wärmeeinheiten wie folgt ausdrücken: $\frac{Q = (T - T')^2}{a}$, worin T und T' die Temperaturen der Gase und des Wassers bedeuten und a eine Constante, deren Werth zwischen 18 und 23 liegt. Für einen Temperaturunterschied von 800° C. benutze man für $a = 18$, für $T - T' = 1400$ ist $a = 23$ zu benutzen, im letzteren Falle ergiebt sich eine Wärmevermittelung von 60 Wärmeeinheiten pro Quadratmeter und Stunde für jeden Grad Temperaturdifferenz, und stimmen die Resultate dieser Formel recht gut mit den praktischen Resultaten von Verdampfungsversuchen mit Dampfkesseln überein.

Aus diesen Betrachtungen wird man erwarten, dass der Effect der Verdampfung für die hinteren Enden von Rohren und überhaupt alle die Flächen, die mit Gasen von verhältnissmässig geringer Temperatur in Berührung kommen, und schon die, bei denen die Flamme in Gase übergegangen ist, ein nur geringer sein kann, und die Resultate von Experimenten, die über diesen Gegenstand zu verschiedenen Zeiten angestellt sind, werden uns nicht in Erstaunen versetzen. Dieselben beweisen aufs Entschiedenste den grossen Vorzug, welchen directe Heizflächen wie Feuerkasten vor Rohren und ähnlichen besitzen. Schon 1830 bewies Stephenson, dass in einem Locomotivkessel, der zur Atmosphäre offen war, die vom Rundkessel getrennte Feuerkiste dreimal so viel Wasser pro Flächeneinheit verdampfte wie eine Flächeneinheit in den Rohren. Im Jahre 1840 modificirte Dewrance das Experiment, indem er den cylindrischen Theil eines kleinen Locomotivkessels in sechs Abtheilungen theilte, deren erste, dem Feuerkasten nächstliegende 150 und jede andere 300 mm lang war. Das Resultat war, dass die Heizfläche der ersten Abtheilung ungefähr gleich wirksam war, wie die Heizfläche im Feuerkasten, natürlich pro Flächeneinheit, die im zweiten Theile nur etwa ein Drittel so wirksam, und die Verdampfung der übrigen Theile war bei diesem Experimente so gering, dass sie fast nutzlos erschienen.

Im Jahre 1858 stellte C. W. Williams Versuche mit einem oben offenen kleinen Kessel von 1,35 m Länge an, der mit einem horizontalen Rohr von 75 mm Durchmesser versehen war. Dieser Kessel wurde in fünf Abtheilungen getheilt, deren erste 150, alle übrigen 300 mm lang waren. Die Wärme wurde durch einen am Ende des Rohres angebrachten und rechtwinklig umgebogenen Gasbrenner erzeugt. Das erste Experiment dauerte 4 Stunden und das Speisewasser hatte eine Temperatur von nur 7^0 C., die in den fünf Abtheilungen verdampften Wassermassen verhielten sich wie 96 : 44 : 24 : 19 : 16, und trotzdem die Temperatur der abziehenden Gase 260^0 C. betrug, zeigte das Wasser in der letzten Abtheilung nur eine Temperatur von 77^0 C. In einem zweiten Experimente von ebenfalls 4 Stunden wurde Speisewasser von 88^0 C. benutzt, und die verdampften Wassermassen verhielten sich in diesem Falle wie 98 : 44 : 32 : 23 : 17. Die Temperatur des Wassers in der letzten Abtheilung war auf 77^0 gefallen, woraus hervorgeht, dass durch Ausstrahlung mehr Wärme verloren ging als durch

Absorption aufgenommen wurde, ein Umstand, der nicht stattgefunden haben würde, wenn der Kessel geschlossen und vor Ausstrahlung geschützt worden wäre. In diesem Experimente betrug die Temperatur der Gase am Ende des Rohres etwa 252°. Für einen dritten Versuch wurde der Kessel auf 1,50 m verlängert und in fünf Abtheilungen von je 300 mm getheilt, gleichzeitig wurde der Gasbrenner durch ein starkes Coaksfeuer ersetzt. Bei einem Versuche von drei Stunden wurden von Speisewasser von 10° folgende Wassermassen verdampft: 117, 92, 73, 64 und 63, wobei die Verbrennungsgase mit einer Temperatur von 427° entwichen; während die Temperatur des Wassers in der letzten Abtheilung am Ende des Versuches nur 97° betrug.

Eine weitere Reihe von Experimenten wurde im Jahre 1864 mit einem Röhrenkessel von 1,5 m Länge angestellt. Die Rohre waren durch Zwischenplatten in sechs Abtheilungen getheilt, von denen die erste nur 25 mm, die nächste 255 mm und jede folgende 305 mm lang waren. Nach drei Stunden fand man, dass folgende Wassermengen verdampft waren.

Abtheilung	1	: 25	mm lang	 46
„	2	: 255	„ „	 47
„	3	: 305	„ „	 30
„	4	: 305	„ „	 22
„	5	: 305	„ „	 18
„	6	: 305	„ „	 17

Da keine besonderen Vorkehrungen getroffen waren, die durch die Rohrwand verdampfte Wassermasse zu messen, so kam diese natürlich der ersten kurzen Abtheilung zu Gute, wodurch die hohe Zahl erklärt ist. Der rapide abnehmende Effect in den anderen Abtheilungen wird weiter nicht Wunder nehmen, wenn man die Umstände berücksichtigt, unter welchen diese Resultate gewonnen sind, eine regelmässige Abnahme lässt sich aus diesen Zahlen nicht constatiren *).

Aus den Resultaten dieser und ähnlicher Experimente ist von Manchen der irrige Schluss gezogen worden, dass in Kesseln mit langen Heizrohren von 3 und mehr Meter Länge

*) Die in diesen Experimenten, mit denen von Williams anfangend, als Verhältnisszahlen gegebenen verdampften Wassermassen sind in Wirklichkeit absolute Resultate und stellen Unzen englisch vor (1 Unze = 28,375 g). Da sie aber in diesen kleinen Zahlen übersichtlicher, und als Absolute wenig Werth haben, wurden sie nicht umgerechnet.

nur die ersten 30 bis 50 cm Länge wirklich wirksam sind. Die Resultate dieser Experimente sind jedoch, wie bereits erwähnt, unter Umständen erzielt, wie dieselben in der Praxis nicht vorkommen, und kann als Hauptunterschied die Abwesenheit eines kräftigen Zuges angegeben werden, der die Flamme mit grosser Geschwindigkeit durch die Rohre reisst, besonders in Locomotivkesseln, während auch das Abschliessen der Abtheilungen von einander, wodurch die Circulation verhindert und ein Mischen der kalten und warmen Wassertheile unmöglich wird, die Resultate beeinflusste. Anders kann auch die geringe Temperatur des Wassers in der letzten Abtheilung bei den verschiedenen Versuchen nicht erklärt werden.

Je stärker der Zug, um so schneller werden die Gase durch die Rohre streichen, um so höher die Temperatur der abziehenden Gase und um so grösser der Wärmeverlust, jedoch wird die Temperatur der Gase während des ganzen Laufes um so gleichmässiger und der Verdampfungseffect um so grösser sein. Um nun bei starkem Zuge die Wärme der Verbrennungsgase trotz der grossen Schnelligkeit, mit der sie durch die Rohre streichen, besser auszunutzen, ist es nothwendig, die Rohre länger auszuführen. Erfahrung lehrt, dass in Kesseln, die sich im Gebrauche befinden, alle Rohroberfläche für die Verdampfung von Wichtigkeit ist, wenn mit der Länge derselben der Zug im passenden Verhältniss steht. Der grosse Vorzug, den die Feuerkastenflächen und die den Verbrennungsraum bildenden Theile in Kesseln mit innerer Feuerung haben, ist hauptsächlich der strahlenden Wärme von den brennenden Kohlen auf dem Roste zuzuschreiben. Nach Peclet beträgt die durch Strahlung abgegebene Wärme von rothglühenden Kohlen 0,5 der ganzen Verbrennungswärme. Der grösste Theil derselben kommt den oberen Theilen und der Decke zu Gute, während die Verbrennungsgase nur wenig davon aufnehmen, ähnlich wie unsere Atmosphäre nicht durch die Sonnenstrahlen, sondern durch Berührung mit der erwärmten Erdoberfläche erhitzt wird.

Nehmen wir an, dass $^3/_8$ der totalen Wärme vom Verbrennen der Kohlen durch die Bleche im Verbrennungsraume absorbirt werden, und dass $^1/_4$ derselben mit den abziehenden Gasen zur Erzeugung des Zuges verwandt wird, so bleiben nur weitere $^3/_8$ für die Absorption durch die Heizfläche oder die Rohre, und da, wie wir früher gesehen haben, die nahe am Ofen gelegenen Theile der Heizfläche für die Wärme-

aufnahme bei Weitem die günstigsten sind, bleibt für die entfernteren Theile wenig übrig. Die Rohrheizfläche ist am wirksamsten, wenn die Flamme mit derselben in Berührung kommt, und hat die geringste Wirksamkeit, wenn das Brennmaterial ohne Flamme verbrennt.

Die verhältnissmässig geringe Verdampfungskraft am Schornsteinende der Rohre in den Experimenten ist nicht auffallend, sondern nur, was man bei der ungünstigen Vertheilung der Gase erwarten sollte. Es giebt viele Fälle, in denen man die Rohrheizfläche durch Rauchkammern und dergleichen ersetzt hat, die eine geringere Oberfläche besitzen, den Gasen jedoch besser Gelegenheit geben, sich zu mischen, und trotzdem sind die Resultate häufig nicht befriedigend gewesen, die Verdampfungskraft war geringer, wodurch bewiesen ist, dass man das Wärmeaufnahmevermögen der Rohre unterschätzt hatte.

Andererseits ist man häufig durch Vergrösserung der Heizfläche enttäuscht worden, indem man mehrere Rohre in die Rauchkammer langer, horizontaler Kessel mit innerer Feuerung einschaltete, wenn man erwartete, hierdurch Gewinn zu erzielen, indem entweder eine höhere Verdampfung oder ein geringerer Brennstoffverbrauch angestrebt wurde. Die Ursache hierfür liegt darin, dass die Gase nach diesem langen Laufe nur schwer Wärme abgeben und die Rohre den Zug so verengen, dass oft gerade das Gegentheil, eine verzögerte Verbrennung und verringerte Dampfentwickelung, das Resultat ist. Ausser den bereits erwähnten Ursachen für die geringe Verdampfungskraft des hinteren Endes langer Röhrenkessel, mit Ausnahme der Locomotivkessel vielleicht, ist noch ein wesentlicher Umstand zu erwähnen. Wo in einem Kessel die geringste Verdampfung stattfindet, das Wasser also am ruhigsten ist, setzt sich am meisten Kesselstein und andere Unreinigkeiten ab. Die Menge der Niederschläge vergrössert sich mit der Zeit des Betriebes, und da gleichzeitig die äussere Kesselfläche mehr und mehr Unreinigkeiten ansetzt, die die Transmission der Wärme beeinflussen, so hilft hier ein Uebel dem anderen, und es kann nicht Wunder nehmen, dass bald die Wärmeübertragung geringer ist als selbst im Verhältniss des Quadrates der Temperaturunterschiede.

An manchen Stellen sowohl in Kesseln mit innerer als auch mit äusserer Feuerung kann die Abnahme der Wärmeübertragung selbst im Verhältniss der dritten Potenz der Temperaturdifferenz stehen.

Aus diesen Betrachtungen geht unzweifelhaft hervor, dass wir schliesslich auf einem Punkte ankommen müssen, wo ein Nutzeffect überhaupt nicht mehr constatirt werden kann, wo also keine Wärmeübertragung mehr stattfindet; auch haben wir bereits gesehen, dass dieser Punkt nicht allein von der Temperaturdifferenz der beiden Agentien abhängig ist, sondern dass die Stärke des Zuges, die Beschaffenheit und Stellung der Heizfläche, die Eigenschaft des heizenden Mediums und die Leitungsfähigkeit der Oberflächen wesentlich bei der Wirkung mitbetheiligt sind.

Wo sich kein Mittel bietet, den Zug zu verstärken, kann aus einer zu grossen Ausdehnung der Heizfläche ein wirklicher Verlust erwachsen, besonders bei Röhrenkesseln, weil die Ansammlung von Russ und Asche in den Röhren den Zug verringert, hierdurch eine grössere Ablagerung von Unreinigkeiten verursacht, und in dieser Weise das Uebel vergrössert wird.

Nehmen wir an, unsere frühere Betrachtung über die Abnahme der Wärmeaufnahme sei richtig, so würden wir bei einer Verlängerung der Rohre um das Doppelte die Temperatur der abziehenden Gase zu 245° finden, und 191° mehr würden für die Verdampfung nutzbar gemacht worden sein. Drücken wir dies in Procenten der Temperatur aus, die die Gase beim Eintritt in das Rohr hatten, so erhalten wir die allerdings hohe Zahl von $\frac{19100}{980-100} = 21{,}6$ Procent. Die Gesammtverbrennungswärme kann aber zu ungefähr 1650° angenommen werden, wovon 675° schon im Heizraum absorbirt werden, hierauf bezogen beträgt der Gewinn nur etwa 12,2 Proc. In Wirklichkeit würden wir jedoch durch Verlängerung der Rohre selbst diesen Vortheil nicht gewinnen, weil, um doppelte Rohrlänge zu erhalten, wir den Kesselmantel ebenfalls ums Doppelte verlängern müssten, und durch Ausstrahlung in gewissen Fällen mehr Wärme verloren gehen kann, als durch Absorption im hinteren Ende der Rohre aufgenommen wird.

Andererseits würden wir durch zu bedeutende Verkürzung des Kessels einen bedeutenden Theil der Wärme in Folge der hohen Temperatur der abziehenden Gase verlieren. Als Regel darf gelten, dass man die Heizfläche so gross ausführt als möglich, damit die Verbrennungsgase noch mit ausreichend hoher Temperatur entweichen, um einen guten Zug zu sichern, und dass kein Theil des Kessels durch Ausstrahlung mehr

Wärme verliert als er durch Absorption aufnimmt. Die Temperatur der abziehenden Gase sollte 310° bis 315° nicht überschreiten, diese Temperatur stimmt mit der von Kesseln in gutem Betriebe überein, und sichert einen guten Zug. Es sei hier erwähnt, dass ein guter Schornsteinzug einer Wassersäule von 10 mm das Gleichgewicht hält, unter 8 mm ist ein zu schwacher Zug, über 12 mm findet man selten. Der gewöhnliche Zug für Locomotiven mit dem Blaserohr ist etwa gleich einer Wassersäule von 50 bis 60 mm, oft aber auch höher.

5. Die Verdampfungskraft einer gegebenen Heizflächengrösse hängt ferner von der für die Wärmevermittelung erlaubten Zeit ab, oder davon, wie lange die heissen Gase mit der Heizfläche in Berührung bleiben. Je grösser die Geschwindigkeit derselben ist, um so weniger Zeit haben sie, ihre Wärme an die Fläche der Platten oder Rohre abzugeben. Die Geschwindigkeit der Gase durch ein Rohr kann entweder dadurch vergrössert werden, dass man den Durchmesser des Rohres verkleinert, während die Quantität der durch dasselbe entweichenden Gase constant bleibt, oder aber, indem man die Stärke des Zuges vergrössert, und eine grössere Quantität Gas durch das Rohr entweichen lässt. Wenn die Heizfläche hauptsächlich aus Rohroberfläche besteht, wie in Locomotivkesseln und ähnlichen Röhrenkesseln, kann der Gesammtquerschnitt der Rohre verringert werden, ohne dass man die Heizfläche verkleinert, weil der Querschnitt mit dem Quadrat des Durchmessers abnimmt, während die Oberfläche derselben sich nur im einfachen Verhältniss des Durchmessers verringert.

Ziehen durch zwei Rohre, deren Durchmesser sich wie 1 : 2 verhalten, die Gase mit gleicher Geschwindigkeit, so ist das Volumen der durch das grössere Rohr passirenden viermal grösser, während das Rohr nur eine doppelt so grosse Oberfläche für die Absorption der Wärme darbietet; um nun denselben Verdampfungsgrad zu erhalten, müsste man demnach das doppelt so weite Rohr auch von doppelter Länge herstellen, oder allgemein gefasst, ist für dieselbe Verdampfungswirksamkeit das Verhältniss zwischen Rohrlänge und Rohrdurchmesser ein constantes. Wenn ein grösseres Gasquantum von derselben Dichte in einer gewissen Zeit durch ein Rohr passirt, so wird, trotzdem ein grösseres Wärmequantum absorbirt wird, immerhin ein Verlust an Wärme durch die höhere Temperatur der abziehenden Gase verursacht werden; um nun mit gleicher Oekonomie arbeiten zu können, oder um

die Temperatur der abziehenden Gase constant zu erhalten, ist es nöthig, die Länge der Rohre in demselben Verhältniss zu vergrössern, als das Volumen der durchziehenden Gase vergrössert wird.

Nehmen wir an, die Wärme würde der Rohrfläche durch Strahlung mitgetheilt, und dies ist, wenn auch nur in geringem Maasse, besonders bei verticalen und anderen langen Rohren die hauptsächlichste Methode der Uebertragung, da die Leitung zwischen den Gastheilen selbst nur in sehr geringem Maasse stattfindet, so müssen wir uns die Wärme als in der Axe des Rohres concentrirt denken. Ist dies der Fall, so wird die Wärmemenge, welche eine Flächeneinheit in einer gewissen Zeit erhält, umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung, also dem Quadrat des Durchmessers sein. Verdoppelt man den Durchmesser eines Rohres, so wird unter sonst gleichen Umständen das vierfache Gasquantum durch dasselbe ziehen und die Quantität der absorbirten Wärme in einer gewissen Zeit ist nur ein Viertel so gross, weil die Entfernung verdoppelt ist. Da sich mit dem Durchmesser jedoch gleichzeitig die Oberfläche vergrössert hat, so wird die absorbirte Wärmemenge ebenfalls doppelt so gross, also ein Halb der ursprünglichen sein. Um daher die Verdampfungswirksamkeit gleich der ursprünglichen zu machen, muss das Rohr um das Doppelte verlängert werden, oder allgemein, die Grösse der Heizfläche muss sich verhalten wie das Quadrat des Durchmessers, um dieselbe Verdampfung zu erreichen, wenn man den Durchmesser der Heizrohre vergrössert.

Verringert man dagegen den Durchmesser eines Rohres auf ein Halb des ursprünglichen, so wird dadurch die Absorptionskraft vervierfacht für jede Flächeneinheit; da jedoch hierdurch gleichzeitig die Fläche auf die halbe ursprüngliche Grösse reducirt ist, so wird die Verdampfungskraft des Rohres im Ganzen nur verdoppelt sein, weshalb wir also das Rohr auf die Hälfte der ursprünglichen Länge reduciren dürfen und trotzdem dieselbe Verdampfungskraft beibehalten. Lässt man jedoch die Länge unverändert, so muss die Quantität der durch das Rohr strömenden Gase verdoppelt werden, um am Ende dieselbe Temperatur wie zuvor beizubehalten, oder allgemein ausgedrückt finden wir wieder, dass die Wirksamkeit einer Flächeneinheit der Heizfläche im umgekehrten Verhältniss mit dem Quadrate des Durchmessers wächst.

Brennt man eine Kohle oder anderen Brennstoff, der eine

lange Flamme verursacht, so darf der Durchmesser der Rohre nicht zu klein gewählt werden, damit die Flamme nicht gehindert wird, durch das Rohr zu streichen, weil, wie wir schon früher sahen, der Werth der Flamme ein weit höherer ist, als der der transparenten Gase, weil letztere einen so geringen Strahlungseffect besitzen. Wo jedoch die Kohlenwasserstoffe und das Kohlenoxydgas völlig verbrannt werden können, ehe die Flamme die Rohre erreicht, können die letzteren fast nicht zu enge gewählt werden. In Locomotivkesseln, wo man eine Stein- oder Wasserbrücke anwendet, durch die die Gase für einige Zeit von der Rohrwand zurückgehalten werden, und mehr Zeit haben, völlig zu verbrennen, würde es sogar möglich sein, noch engere Rohre anzuwenden, als jetzt gewöhnlich benutzt werden. Aus demselben Grunde sind für cylindrische Röhrenkessel mit innerer Feuerung längere Verbrennungsräume hinter der Feuerbrücke und vor der Rohrwand zu empfehlen, trotzdem man bei dieser Anordnung an Heizfläche verliert.

6. Nachdem was im Vorhergehenden gesagt wurde bezüglich der geringen Wärmemenge, die durch Strahlung und Leitung von den transparenten Gasen abgegeben wird, ist es entschieden rathsam, die Heizfläche, welche in einiger Entfernung vom Verbrennungsraume gelegen ist, so anzuordnen, dass die Gase in directe Berührung mit derselben gebracht werden. Dies geschieht entweder durch plötzliche Aenderung der Richtung des Zuges, oder durch das Einsetzen von Querröhren, nur muss darauf geachtet werden, dass die Stärke des Zuges unter solchen Einrichtungen nicht zu sehr leidet.

Die Schlüsse, die sich hieraus ziehen lassen, sind demnach:

Der Werth eines Quadratmeters Heizfläche ist nicht nur in verschiedenen Kesseln verschieden, sondern variirt in demselben Kessel je nach seiner Beschaffenheit, seiner Stellung gegen die Richtung des Zuges und seiner Entfernung vom Roste in der Richtung des Zuges gemessen. Aus diesem Grunde sowohl als aus der Unsicherheit verschiedener anderer Umstände, welche auf die Verdampfungskraft von wesentlichem Einflusse sind, ist es schwer, die genaue Grösse der Heizfläche für einen Kessel, der ein gewisses Wasserquantum verdampfen soll, zu bestimmen. Die einfachste Methode ist allerdings für die Verdampfungskraft eines Kessels die durchschnittliche, für die verschiedenen Kesselconstructionen durch die Erfahrung gefundene Verdampfung des ganzen Kessels pro Flächeneinheit in Rechnung zu ziehen, besser ist es jedoch, die Wirk-

samkeit der directen und indirecten Heizfläche für jeden besonderen Fall zu berechnen.

Als Maximaldurchschnitt für die Verdampfungskraft eines Quadratmeters directer Heizfläche kann circa 100 Kilo pro Stunde angenommen werden. Es wird mehr als dies in manchen Locomotivfeuerkisten und überall da sein, wo die Flamme direct einwirken kann, jedoch weniger für die Fläche des Heizraumes in manchen Kesseln mit Vor- und Unterfeuerung.

Der genaue Werth würde sich nur für ganz specielle Fälle angeben lassen. In Locomotivkesseln ist der höchste Durchschnittswerth der Verdampfung für die gesammte Heizfläche 67 Kilo pro Quadratmeter und Stunde; in gewöhnlichen Röhrenkesseln und Kesseln mit äusserer Feuerung variirt die Verdampfung von 14 bis 32 Kilo pro Quadratmeter und Stunde, und ist diese Verdampfung unregelmässig vertheilt, von circa 90 Kilo pro Quadratmeter in den Verbrennungsräumen bis zu wenigen Kilo in den hinteren Theilen der Rohre, nahe der Rauchkammer.

Für eine gegebene Classe von Kesseln ist natürlich die Verdampfungskraft wesentlich abhängig von dem Verhältniss zwischen dem verbrannten Kohlenquantum und der Heizfläche. Die Qualität der Feuerung und die Art und Weise, in der sie gebrannt wird, sowohl als die Beschaffenheit der Heizfläche üben natürlich einen wesentlichen Einfluss auf die Verdampfungskraft und den Verdampfungswerth des Kessels aus. Wie wir bereits gesehen haben, kann für das Verhältniss zwischen Feuerung und Heizfläche ein ziemlicher Spielraum erlaubt werden. Durch geringes Verstärken des Zuges und eine grössere Verbrennung, oder in anderen Worten durch forcirtes Feuern kann die Schnelligkeit der Verdampfung ganz bedeutend erhöht werden, ohne dabei wesentlich an Brennmaterial zu verschwenden; und andererseits können wir ganz bedeutend zur Heizfläche hinzufügen, ohne einen wesentlichen Unterschied in der Schnelligkeit oder Sparsamkeit der Verdampfung zu bemerken.

Der geringe Gewinn an Oekonomie, der eine Vergrösserung der Heizfläche gewöhnlich begleitet, ist am auffallendsten, wenn die neue Heizfläche parallel zur Richtung des Zuges angefügt worden ist, und besonders an der Stelle, wo die Gase am kältesten sind, weil hier nur die strahlende Wärme derselben wirksam wird. Fügt man jedoch die neue Heizfläche

im oder nahe beim Verbrennungsraum an, wo dieselbe einen beträchtlichen Theil der strahlenden Wärme vom Feuer absorbiren kann, oder wenigstens die Einwirkung der Flamme und heissen Gase eine directe ist, so kann dieselbe Sparsamkeit in der Dampfentwickelung beibehalten werden, während die Schnelligkeit der Verdampfung und folglich die Verbrennung auf dem Roste vergrössert werden. Am besten kann dies dadurch erreicht werden, dass man die Anzahl der Heizrohre vergrössert und zu diesem Zwecke den Durchmesser verringert, auch leistet ein Speisewasserheizer, der zwischen den Kessel und Schornstein in den Zug eingeschaltet ist, und der die Wärme der abziehenden Gase ausnutzt, recht gute Dienste.

Herr D. K. Clark, der das Verhältniss zwischen Rost und Heizfläche sowie den Verbrauch an Feuerung und Wasser in Locomotivkesseln vorsichtig untersucht hat, ist zu folgenden Resultaten gekommen.

1. Für eine gegebene Grösse an Heizfläche nimmt der ökonomische Verbrauch an Brennmaterial oder Wasser in demselben Verhältniss ab, wie die Rostfläche zunimmt, und um daher dieselbe Wirkung oder denselben ökonomischen Effect beizubehalten, sollte der stündliche Kohlenverbrauch in demselben Grade reducirt werden, als die Rostfläche vergrössert wird.

2. Für eine gegebene Rostfläche sollte der stündliche Kohlenverbrauch in demselben Verhältniss variiren, wie das Quadrat der Heizfläche. Verdoppelt man daher die Heizfläche, so kann man die vierfache Quantität Feuerung auf demselben Roste verbrennen und würde in diesem Falle denselben Verdampfungsgrad beibehalten.

3. Für einen gegebenen stündlichen Verbrauch an Brennmaterial sollte die Rostfläche mit dem Quadrat der Heizfläche variiren, um denselben Verdampfungsgrad beizubehalten. Wird demnach die Heizfläche verdoppelt, so kann die Rostfläche viermal so gross gewählt und dabei derselbe Verdampfungsgrad beibehalten werden.

Das erste dieser Resultate scheint für Kessel jeder Art richtig und anwendbar zu sein. Allgemein kann festgestellt werden, dass man für sparsame Verdampfung die Rostfläche nicht zu klein wählen kann. Sparsame und rapide Verdampfung lassen sich jedoch schwer mit einander verbinden, und die Verkleinerung der Rostfläche ist durch die verlangte Schnellig-

keit der Verdampfung begrenzt, sowie durch das Maximum des Kohlenquantums, welches mit Sparsamkeit auf dem Roste gebrannt werden kann, und bei verschiedenen Kesseln je nach der Stärke des Zuges wesentlich variirt. Durch Verkleinerung der Rostfläche kann der Werth der Heizfläche in Bezug auf Sparsamkeit vergrössert werden, trotzdem die Schnelligkeit der Verdampfung gleichzeitig abnehmen mag. Nach den im zweiten und dritten Satze ausgesprochenen Schlüssen, dass, wenn die Heizfläche verdoppelt wird, man den stündlichen Kohlenverbrauch in den Grenzen der Sparsamkeit vervierfachen kann, indem man den Grad der Verbrennung oder die Grösse der Rostfläche vergrössert, würde es den Anschein haben, als ob die Wirksamkeit jeder Flächeneinheit Heizfläche dadurch verbessert wäre, dass man die Fläche selbst vergrösserte, oder dass die Verdampfungskraft eines Kessels schneller zunimmt als die Grösse der Heizfläche, während dieselbe Wirksamkeit beibehalten wird. Es steht jedoch für die sparsame Verbrennung des grössten Kohlenquantums pro Quadratmeter Rostfläche eine Grenze fest, welche die durch vergrösserte Heizfläche erreichbare grössere Kraft für gleichbleibende Rostflächen begrenzt, auf der anderen Seite ist, bei festgestelltem Grade der Verbrennung, die Vergrösserung der Rostfläche durch praktische, bereits erwähnte Hindernisse begrenzt.

Die beiden letzten Resultate finden jedoch besonders auf Kessel der Locomotivclasse Anwendung; vergrössert man die Heizfläche eines Locomotivkessels von gegebener Rostfläche, so können wir in den meisten Fällen entweder nur die Feuerbüchsenfläche vergrössern, oder eine grössere Anzahl Rohre von kleinerem Durchmesser zur Anwendung bringen, da wir nur selten den Kessel verlängern können. Hierdurch wird nun eine grössere Heizfläche in dem wirksamsten Kesseltheile erzielt, und der ökonomische Verdampfungseffect des Kessels folglich vergrössert. Verbindet man beide Mittel und reducirt gleichzeitig den Durchmesser der Rohre, so gewinnt man dadurch noch weiter, da enge Rohre besser geeignet sind, den heissen Gasen die Wärme zu entziehen. Die Richtigkeit dieser Betrachtungen ist durch praktische Erfahrung bewiesen.

Bei einem gewöhnlichen stationären Kessel kann man meist die Heizfläche nur dadurch vergrössern, dass man entweder den Kessel verlängert, oder die Züge so anordnet, dass die Gase eine grössere Fläche des Kessels bestreichen. In beiden Fällen wird die neue Heizfläche da zugefügt, wo die-

selbe am wenigsten wirksam ist; die Gase sind hier bereits bedeutend abgekühlt und in dem ungünstigsten Zustande ihre Wärme abzugeben und wird in Folge dessen die erzielte grössere Verdampfung nur unbedeutend sein können, besonders da gerade an der Stelle, wo die Verdampfung am geringsten ist, sich die grössten Kesselsteinmassen inwendig, und die meisten Russ- und Aschenablagerungen aussen bilden.

Verdoppelt man die Länge eines stationären Röhren- oder anderen Kessels, so würde man selbst nicht im Stande sein, den Brennstoffverbrauch zu verdoppeln und dabei denselben ökonomischen Verdampfungsgrad beizubehalten, und wenn man nicht gleichzeitig mit der Länge des Kessels oder der Züge den Zug ganz wesentlich verstärkt, wird stets eine Verminderung der Schnelligkeit der Verdampfung die Folge sein, weil man nicht dasselbe Kohlenquantum pro Einheit Heizfläche verbrennen kann.

In Locomotivkesseln hat man in Folge des starken Zuges einen weit grösseren Spielraum für den Verbrennungsgrad, als sich bei stationären und Marinekesseln erreichen lässt.

Bei geringem oder selbst gewöhnlichem Schornsteinzuge sind enge Röhren der Gefahr ausgesetzt, durch Russ und Flugasche verstopft zu werden; ähnlich verhält es sich mit den äusseren Zügen, die Russablagerung vergrössert sich mit der Länge der Züge und der Trägheit des Zuges. Aus diesem Grunde sollte in stationären Kesseln mit Schornsteinzug das Verhältniss zwischen Durchmesser und Länge der Rohre nicht höher sein als 1 : 24, besser ist es in den meisten Fällen schon auf 1 : 20 herunterzugehen. In Locomotiven findet man dasselbe bis zu 1 : 120. Die Verminderung des Durchmessers der Rohre ist durch den nöthigen Querschnitt für die abziehenden Gase begrenzt und letzterer richtet sich wieder wesentlich nach der Stärke des Zuges. In Röhrenkesseln mit Schornsteinzug betrage das Verhältniss des totalen Rohrquerschnitts zur Rostfläche ungefähr 1 : 7, während dieselbe in Locomotivkesseln häufig 1 : 4 beträgt.

Die praktische Unmöglichkeit, eine gewisse Grenze der Verbrennung auf dem Roste pro Stunde und Quadratmeter zu übersteigen, begrenzt die Reduction des Durchmessers von Heizrohren. Bei einer gegebenen Kessellänge ist der Durchmesser der Rohre meist durch das Verhältniss zwischen Länge und Durchmesser bestimmt. Bei den Experimenten über Verdampfungskraft von Kohlen in Wigan im Jahre 1868 versuchte

man, welche Einwirkung es haben würde, die äusseren Züge eines Locomotiv- und Galloway-Kessels wegzulassen, so dass die Gase nur durch die Flammenrohre und von hier direct in den Schornstein entwichen. Das Resultat war ein sehr geringer ökonomischer Verlust, d. h. ein Kilo Kohle verdampfte etwas weniger Wasser, jedoch wurde bei etwas lebhafterer Verbrennung fast ebenso viel Wasser im Kessel verdampft, trotzdem bei der anderen Anordnung die Gase eine weit grössere Fläche bestreichen. Es ergab sich ferner, dass der Galloway-Kessel weder in Verdampfungskraft noch in Oekonomie dem Lancashire-Kessel überlegen war, trotzdem er eine grössere directe Heizfläche besitzt, und dass kein Unterschied in dem Verdampfungsgrade von eisernen und stählernen Flammenrohren bemerkbar war. In all diesen Experimenten wurde eine sehr hohe Verdampfung erzielt, etwas über 9 Kilo Wasser von 38° C. pro Kilo Kohle; wäre jedoch die Verbrennung von Kohle pro Stunde grösser gewesen, so dass die abziehenden Gase heisser gewesen wären, so würde sich entschieden ein besseres Resultat zu Gunsten des Galloway-Kessels mit der grösseren effectiven Heizfläche ergeben haben, und auch für beide Kessel mit ihren äusseren Zügen besser als ohne dieselben.

Es kommen jedoch Fälle vor, in denen Kessel mit zwei inneren mit Rost versehenen Röhren, Verbrennungsräumen und einer Anzahl kleiner Heizrohre am hinteren Ende trotz ihrer grösseren Heizfläche nicht so viel Dampf zu entwickeln im Stande sind, als einfache Lancashire-Kessel, welche neben diesen von denselben äusseren Dimensionen, derselben Anordnung der Züge und unter gleichen Umständen in Bezug auf den Schornstein liegen.

Dieses unerwartete Resultat kann nur dadurch erklärt werden, dass in Folge der grösseren Ablagerung von Russ und Asche und Ansammlung von Kesselstein im Inneren der Zug und die Verdampfung verringert sind. Mit reinerem Feuermaterial und besserem Wasser werden sich in vielen Fällen diese Resultate umkehren lassen.

Nicht selten findet man, dass die extra Heizfläche von conischen und anderen Wasserrohren fast nutzlos ist, in Folge der starken Ablagerung von Kesselstein im Inneren. Diese Ablagerung findet inwendig in den engen Rohren weit schneller statt als an der convexen Oberfläche der Flammenrohre, trotz der kräftigeren Circulation, die in denselben stattfindet; die

Ursache hierfür liegt wesentlich darin, dass sich die einmal gebildete Ablagerung so schwer entfernen lässt, weil die Rohre meist schwer zugänglich sind. Es ist aus diesem Grunde nothwendig, grosse Sorgfalt auf das Reinigen von Wasserrohrkesseln zu verwenden, um den Verdampfungsgrad aufrecht zu erhalten.

Aus obigen Betrachtungen wird hervorgehen, dass der in einem neuen Kessel erzielte Verdampfungsgrad kaum als ein Zeichen des Werthes für fernere Zeiten angesehen werden kann.

Die verhältnissmässige Quantität harten Kesselsteins ist gewöhnlich ein ziemlich sicheres Zeichen für den Werth der Heizfläche, auf welchem sie vorgefunden werden. Wo die Dampfentwickelung am grössten ist, wird die Masse des harten Kesselsteins am geringsten sein. Diese allgemeine Regel hält allerdings da nicht gut, wo das Ablösen des Kesselsteins durch dichtstehende Stehbolzen oder anderer Verstärkungsanker verhindert wird, wie auf den Decken von Locomotivfeuerkasten, oder in der Mitte einer Zahl dicht gepackter Heizrohre. In manchen Fällen, wo der Kessel nicht sorgfältig gereinigt wird, lässt sich oft die Linie der kräftigen Dampfentwickelung mit ziemlicher Schärfe bezeichnen, besonders über den Rosten von Kesseln mit innerer und äusserer Feuerung und in den Wasserrohren besonders da, wo die Circulation mangelhaft ist.

Die Veränderung der Farbe des Kesselsteins durch die directe Einwirkung des Feuers, wenn die Bleche vom Wasser entblösst gewesen sind, beweist zuweilen, dass bei intensivem Feuer die Hitze über dem Roste zu Zeiten weit höher ist, als sich durch die blosse Einwirkung der Flamme erwarten lässt; dieser Umstand kann nur durch die vereinte Wirkung der strahlenden Wärme von den weissglühenden Kohlen und der Flamme erklärt werden.

Das Ausbeulen der Platten, welches als Folge von Wassermangel zuweilen auftritt, findet meist nur in den Blechen direct über dem Roste oder über der Feuerbrücke statt, und kann ebenfalls als Beweis des hier herrschenden hohen Hitzegrades gelten.

Um den wirklich erzielten Effect im Vergleich zum theoretischen Effect für die auf einem Kesselroste verbrannten Kohlen zu berechnen, hat Prof. Rankine folgende Formel aufgestellt:

$$\frac{E'}{E} = \frac{BS}{S + AF}.$$

Wenn E' die auf dem Kesselroste erreichbare Verdampfungskraft der in Rechnung gezogenen Kohle; E die theoretische Verdampfungskraft derselben; S die totale Heizfläche des Kessels einschliesslich der Heizfläche eines Vorwärmers, wenn durch die Schornsteingase erhitzt, dividirt durch die Rostfläche; F die pro Stunde und Quadratmeter auf dem Roste verbrannte Kohle in Kilo; A und B sind zwei durch Erfahrung gefundene Constanten, A ist fast genau proportional dem Quadrate des pro Kilo Kohle verbrauchten Luftquantums, während B ein Multiplicator in Bruchform ist, der für die verschiedenen Wärmeverluste eingeführt ist.

Für Kessel mit Schornsteinzug stellt sich $B = 0{,}91$ u. $A = 0{,}10$
„ „ „ forcirtem Zuge „ „ $B = 0{,}95$ u. $A = 0{,}067$.

In folgender Tabelle sind die Resultate von $\frac{E'}{E}$ für verschieden proportionirte Kessel und für Schornsteinzug zusammengestellt. Die erste Reihe giebt das Verhältniss von S zu F, oder das Verhältniss von Heizfläche zur Quantität gebrannter Kohle pro Stunde, die zweite Reihe den Effectcoëfficienten $\frac{E'}{E}$.

	Quadratmeter Heizfläche pro Kilo verbrannter Kohle pro Stunde $\frac{S}{F}$	Coëfficient des Effectes $\frac{E'}{E}$	Kilo Wasser von 100^0 verdampft pro Kilo Kohle	Kilo Dampf von 4 Atm. aus Wasser von 17^0 erzeugt
Sehr geringe . .	0,110	0,4	5,6	4,7
Verhältnisse für Cornish-, Lancashire- und Multitubular-Kessel	0,165	0,48	6,72	5,7
	0,220	0,53	7,42	6,3
	0,275	0,56	7,48	6,6
	0,300	0,60	8,4	7,1
	0,385	0,62	8,68	7,4
	0,44	0,64	8,96	7,6
Für Wasserrohr- und Segment-Kessel	0,66	0,69	9,66	8,1
	0,88	0,71	9,94	8,4
	1,10	0,72	10,0	8,5
	1,32	0,73	10,2	8,6
	1	2	3	4

Die dritte Reihe giebt die diesem Effectverhältniss entsprechende Verdampfung von Wasser pro Kilo Kohle, unter der Annahme, dass die theoretische Verdampfung von 1 Kilo Kohle 14 Kilo Wasser von 100^0 beträgt. Die vierte Reihe giebt das Dampfquantum für denselben Effectcoëfficienten nach Reihe 2. Mit einem reinen Kessel, guter Kohle, vorsichtigem Feuern und der Anwendung von heissem Speisewasser lassen sich die Zahlen in der vierten Reihe von 10 bis 30 Proc. erhöhen. In einem schmutzigen Kessel und unter sonst ungünstigen Umständen mögen dieselben sehr bedeutend verringert werden.

Mit Speisewasserheizern guter Construction oder sogenannten „Oekonomisern“, welche die Wärme der vom Kessel nach dem Schornstein entweichenden Gase ausnutzen und mit ihrer Heizfläche senkrecht zur Richtung des Zuges angeordnet sind, kann man das Speisewasser bis zu 120^0 erhitzen, wenn man die Heizfläche des Oekonomisers durch selbstthätige Schaber rein erhält. Bei der Berechnung der Wirksamkeit der totalen Heizfläche eines Kessels muss auf die Fläche des Speisewasserheizers Rücksicht genommen werden.

Der zuweilen befolgte Plan, einen alten Kessel oder einen Kasten, die als Speisewasserheizer dienen sollen, in die Züge zu stellen, führt nur zu oft zu unangenehmen Erfahrungen, weil die Oberflächen sich sehr bald voll Russ setzen und so gänzlich untauglich werden, die Wärme durchzulassen, besonders bei Anwendung rauchender Kohlen. Es kommen Fälle vor, in denen ein derartiger Vorwärmer das Wasser in den ersten Tagen bis auf den Siedepunkt erhitzt, bald aber in seiner Wirksamkeit abnimmt, und zuletzt kaum noch im Stande ist, dasselbe bis auf 40^0 zu erhitzen, und zwar nur, weil die Oberflächen dick mit einer nichtleitenden Schicht von Russ und Schmutz überzogen sind.

Leider wird viel zu wenig Aufmerksamkeit darauf verwendet, Kessel aller Constructionen gehörig rein von Asche und Russ zu halten. Zu oft findet man aussen überall eine dicke Russschicht und selbst innen in den Flammenrohren, trotzdem sie hier so leicht zu entfernen ist, grössere oder geringere Schichten von Asche, die erstens die Heizfläche bedeutend verringern, und ferner dem Zuge hinderlich sind. Reinlichkeit ist eine der Haupttugenden eines guten Kesselwärters, nur gebe man ihm von vornherein die nöthigen Vorkehrungen, sorge für Zngänglichkeit der Züge, damit das Reinigen nicht zur praktischen Unmöglichkeit wird.

Sechszehntes Capitel.

Berechnung der Grösse von Dampfkesseln.

Es muss zugegeben werden, dass die Methoden, nach denen die Grössen von Dampfkesseln gewöhnlich berechnet werden, durchaus unbefriedigend sind. Es war lange Zeit und noch heute besonders im commerciellen Leben Mode, Dampfkessel nach deren wirklicher oder nomineller Pferdekraft zu bestimmen und zu kaufen. Da nun aber der Ausdruck nominelle Pferdekraft schon für Maschinen ein durchaus unbefriedigender und nichtssagender ist, da ein jeder Fabrikant sich seinen Maassstab für nominelle Pferdekräfte nach eigenem Gutdünken schafft, so ist diese Methode für Kessel um so mehr verwerflich. Wie man für Dampfmaschinen die nominelle Kraft meist nach den Dimensionen und der Anzahl der Umdrehungen bemisst, ohne die Dampfspannung, den Expansionsgrad und andere Verhältnisse zu berücksichtigen, so wird die nominelle Kraft eines Kessels meist einfach nach der Grösse der Heizfläche bestimmt, ohne dass man den Dampfdruck, die Wirksamkeit der Heizfläche, Grösse des Rostes, den Verbrennungsgrad, die Stärke des Zuges und viele andere wichtige Umstände in Rücksicht zieht. Kauft man von einem Fabrikanten eine sogenannte zwölfpferdige Dampfmaschine, von der man mit Recht für einen Druck von 5 Atm. Ueberdruck ungefähr 35 bis 40 indicirte Pferdestärken erwarten darf, und besorgt sich hierzu von einem anderen Fabrikanten einen sogenannten zwölfpferdigen Kessel, so mag es oft vorkommen, dass letztere durchaus unzureichend ist, einfach weil der Maassstab der verschiedenen

Fabrikanten ein verschiedener ist. Wie viele und wie unangenehme Enttäuschungen aus diesem Umstande fast täglich erwachsen, ist kaum glaublich, und wie nöthig es ist, diese rein kaufmännischen Ausdrücke von nominellen Pferdestärken endlich einmal fallen zu lassen, werden alle die gern zugeben, welche mit Kesseln und Maschinen zu thun gehabt haben. Es soll aus diesem Grunde auch hier keine Erklärung versucht, oder ein gewisser Maassstab aufgestellt werden, auch unterbleiben die Angaben solcher Formeln, die auf nominelle Pferdestärken basirt sind und in einem Falle passen mögen, in hundert anderen aber nicht.

Die einzige rationelle Methode, die Kraft eines Kessels zu berechnen, ist nach der Quantität Wasser, die derselbe zu verdampfen im Stande ist. Der Wasserverbrauch für Dampfmaschinen variirt für verschiedene Grössen und besonders verschiedene Constructionen, ob mit oder ohne Condensation, mit oder ohne bedeutende Expansion u. s. w. pro indicirter Pferdestärke sehr bedeutend. Während kleine Hochdruckmaschinen mit geringer Expansion ohne Condensation bis zu 30 Kilo Wasser pro Stunde und indicirter Pferdestärke brauchen, ist der Wasserverbrauch für grosse Compound-Condensationsmaschinen bis zu 6,5 Kilo pro Stunde und Pferdekraft reducirt worden. Man hat also für jeden besonderen Fall die Umstände, welche den Wasserverbrauch bestimmen, in Rechnung zu ziehen. In Maschinen mittlerer Grösse, die mit etwa 5 Atm. Ueberdruck und dreifacher Expansion arbeiten, kann man als Durchschnitts-Wasserverbrauch pro Stunde und indicirter Pferdestärke 14 Kilo annehmen. Für Kessel mit äusserer Feuerung, die ein Verhältniss von 10 bis 16 zu 1 zwischen Heiz- und Rostfläche einhalten, darf man die mittlere Verdampfungskraft zu 16 Kilo pro Quadratmeter Heizfläche annehmen, man bedarf also $^7/_8 = 0{,}875$ Quadratmeter Heizfläche pro indicirter Pferdekraft. In Cornish- und Lancashire-Kesseln, in denen das Verhältniss von Heizfläche zur Rostfläche zwischen 15 bis 25 zu 1 liegt, ist die Verdampfung im Mittel 20 Kilo pro Quadratmeter Heizfläche, und man braucht für diese 0,7 Quadratmeter pro indicirter Pferdekraft, unter obiger Annahme des Wasserverbrauches.

In Multitubular und anderen Rohren und Segmentkesseln, in denen sich die Heizfläche zur Rostfläche wie 30 : 1 oder bis 40 : 1 verhält, werden pro Quadratmeter Heizfläche bis zu 30 Kilo Wasser verdampft, und man würde demnach nur etwa

0,5 Quadratmeter Heizfläche für jede indicirte Pferdekraft nöthig haben.

Verticale Kessel sind im Allgemeinen verschwenderisch, wenn in gutem Zustande und mit vorsichtig angeordneten Wasserrohren verdampfen dieselben bis zu 19 Kilo, jedoch thut man besser, bei Berechnung stets wenigstens 1 bis 1,2 Quadratmeter pro indicirter Pferdekraft zu erlauben.

In Locomotivkesseln mit starkem künstlichem Zuge bei einem Verhältniss von 60 bis 80 : 1 zwischen Heiz- und Rostfläche erlaube man etwa 0,4 Quadratmeter Heizfläche pro indicirter Pferdestärke. Natürlich sind die besonderen Umstände, wie die Qualität des Brennmaterials, der Verbrennungsgrad, die Anordnung der Feuerung, der Zustand des Kessels, die Art des Feuerns oder die Brauchbarkeit und Schicklichkeit des Heizers, von grossem Einfluss. Auch berücksichtige man, dass obige Zahlen für indicirte und nicht für verwendbare Pferdestärken, letztere hängen von der Art der Uebertragung und der zur Bewegung der Maschine selbst nöthigen Kraft ab, giltig sind. Wo Brennmaterialien von geringem Brennwerthe, wie manche Steinkohlen und viele Braunkohlen, Verwendung finden, sind diese Zahlen natürlich verhältnissmässig zu modificiren, überhaupt sind dieselben, basirt auf einen Wasserverbrauch von 14 Kilo pro indicirter Pferdekraft, mehr als Verhältnisszahlen und nicht absolut zu nehmen.

Nehmen wir des Beispiels wegen an, es sei die Grösse eines Cornish-Kessels für eine Dampfmaschine zu bestimmen, deren Cylinder 40 cm Durchmesser und 60 cm Hub hat, und die 70 Umdrehungen pro Minute machen soll. Die Dampfspannung betrage 5 Kilo pro Quadratcentimeter und die Maschine arbeite mit $^1/_4$ Füllung, so stellt sich das pro Stunde nöthige Dampfquantum wie folgt:

$0{,}4^2 \times 0{,}7854 \times 0{,}25 \times 0{,}60 \times 2 \times 70 \times 60 = 158{,}33$ cm.

Dieses Dampfquantum ist um mindestens 25 Proc. zu erhöhen, um für die verschiedenen Verluste, den schädlichen Raum in den Canälen und im Cylinder, das Abblasen der Ventile und andere Verluste Rechnung zu tragen, als auch um ein gewisses Uebermaass an Kraft zur Verfügung zu haben; wir bekommen demnach annähernd 200 cm. In der Tabelle auf Seite 363 finden wir, dass bei 5 Atm. Ueberdruck 1 Cubikmeter Dampf circa 3 Kilo wiegt, die pro Stunde in unserem Kessel zu verdampfende Wassermenge beträgt demnach rund 600 Kilo.

Nehmen wir nun weiter den gewöhnlichen Verbrennungs-

grad für Steinkohlen pro Quadratmeter Rostfläche in Cornish-Kesseln zu 60 Kilo und rechnen die Verdampfungskraft von 1 Kilo Steinkohle zu 7 Kilo Wasser von gewöhnlicher Temperatur, so haben wir $60 \times 7 = 420$ Kilo Wasser, verdampft pro Quadratmeter Rostfläche, und $\frac{600}{420} = 1{,}43$ Quadratmeter ist demnach die nöthige Rostfläche. Setzen wir ferner die Länge des Rostes zu 1,5 Meter fest, so wird unser Rost etwa 0,95 Meter breit werden müssen und unser Feuerrohr 1 Meter Durchmesser erhalten. Bleiben wir nun mit dem Feuerrohre unten 180 mm vom Kesselmantel entfernt und rechnen über demselben 650 mm, so erhalten wir einen Mantel von 1,83 Meter Durchmesser. Die Länge mag nun des Versuchs halber zu 4 Durchmessern, also 7,32 Metern angenommen, und hierauf die übrigen Verhältnisse, Heizfläche u. s. w., untersucht werden, wonach die Länge später zu bestimmen ist. Hätte sich die Rostfläche auf 2 Quadratmeter oder mehr ergeben, so würde es rathsam sein, die Rostlänge zu 1,2 Meter festzusetzen und zwei Feuerrohre von je 0,86 anzuwenden, statt einen Rost von 1,8 Meter Länge und 1,11 Meter Breite zu benutzen. Der Kessel würde in diesem Falle etwa 2,2 Meter Durchmesser und 8,5 Meter Länge haben.

Es sind zu verschiedenen Zeiten und von verschiedenen Interessirten eine grosse Anzahl Experimente ausgeführt worden, um die Verdampfungskraft verschiedener Kesselconstructionen festzustellen, meist jedoch rühren solche Experimente von den Vertheidigern einer bestimmten Construction her, und oft sind sie mit zu wenig Vorsicht und Erfahrung ausgeführt, um wirklich glaubwürdige und sichere Resultate zu liefern. Eine der Hauptschwierigkeiten liegt darin, die wirklich verdampfte Wassermenge richtig zu bestimmen. Die einfachste und daher am häufigsten angewandte Methode ist die, das verdampfte Wasserquantum am Wasserstandsglase zu messen, jedoch ist dies eine sehr unzuverlässige Sache; erstlich lässt sich während der Dampfentwickelung der Wasserstand selbst nicht mit annähernder Genauigkeit feststellen, wie man oft an zwei neben einander angebrachten Gläsern bemerken kann, ferner steht aber auch das Wasser in einem im Betriebe befindlichen Kessel nicht horizontal, sondern je nach der Intensität des Feuers höher am Vorderende, und ändert sich mit dem Zustande des Feuers. Bei mechanischen Feuerungsanlagen mag dies bis auf ein Minimum reducirt werden.

Wassermessapparate anzuwenden, ist ebensowenig anzurathen, dieselben sind für so genaue Rechnungen nicht tauglich, die einzige zuverlässige Methode ist die, das Wasser in einem Bassin zu messen und von hier aus in den Kessel zu pumpen. Ehe man den Versuch beginnt, bezeichne man den Wasserstand bei einer Temperatur von 100^0, messe dann alles in den Kessel gepumpte Wasser, ehe es hineingeht, und verdampfe so lange, bis man wieder auf demselben Wasserstande und derselben Temperatur angelangt ist, mit dem man begann. Solche Evaporationsversuche sollten nie weniger als 10 Stunden dauern, um Genauigkeit zu bieten. Trotz aller Vorsicht kann man jedoch nicht sicher sein, dass alles aus dem Kessel entfernte Wasser wirklich verdampft worden ist, weil oft ein sehr bedeutender Theil durch Ueberkochen und Schäumen mit dem Dampf fortgerissen wird. Die sicherste und empfehlenswertheste Methode ist es schon, den Evaporationsversuch bei offenen Ventilen und nur unter Atmosphärendruck auszuführen. Das Ueberschäumen wird hierdurch fast ganz vermieden und auch der Wasserstand lässt sich am besten regelmässig erhalten.

Es giebt wenige Kessel, die gar nicht überschäumen, und die auf diese Weise aus manchen Röhrenkesseln zuweilen entfernten Wassermassen haben zu solch unglaublichen Verdampfungsresultaten wie 16 bis 17 Kilo Wasser pro Kilo Kohle geführt. Kessel mit äusserer Feuerung, die wenn offen zur Atmosphäre die bescheidene Verdampfung von 5 Kilo Wasser pro Kilo Kohle ergeben, zeigten eine Verdampfung von 10 bis 12 bei einem Druck von $3^1/_2$ bis 4 Atm. Dies beweist zur Genüge, dass wenn die fortgerissenen Wassermengen nicht vom Dampf getrennt und vorsichtig gemessen werden können, so sind Verdampfungsversuche unter Druck nicht zuverlässig.

Zum sechszehnten Capitel.

Eigenschaften des gesättigten Wasserdampfes.

Spannung des Dampfes in Atm.	Temperatur in Graden Celsius	Gesammtwärme zur Bildung nach Regnault	Im Dampfe enthaltene Wärme	Volumen eines Kilo Dampf in Litern	Gewicht eines Cubikmeter Dampf in Kilo
0,25	65,4	626,45	588,6	6149	0,1626
0,50	81,7	631,42	592,5	3223	0,3103
0,75	92,1	634,59	594,9	2212	0,4521
1,00	100,0	637,00	596,8	1695	0,5894
1,25	106,4	638,95	598,3	1379	0,7252
1,50	111,7	640,57	599,5	1165	0,8581
1,75	116,4	642,00	600,6	1011	0,9891
2,00	120,6	643,28	601,6	893	1,1184
2,25	124,4	644,44	602,5	802	1,2463
2,50	127,8	645,48	603,3	728	1,3729
2,75	131,0	646,45	604,0	667	1,4983
3,00	133,9	647,34	604,7	616	1,6227
3,50	139,2	648,96	605,9	535	1,8687
4,00	144,0	650,42	607,1	474	2,1112
4,50	148,3	651,73	608,1	425	2,3510
5,00	152,2	652,92	609,0	386	2,5880
5,50	155,8	654,02	609,8	354	2,8228
6,00	159,2	655,06	610,6	327	3,0553
6,50	162,4	656,03	611,4	304	3,2859
7,00	165,3	656,92	612,1	284	3,5147
7,50	168,1	657,77	612,7	267	3,7419
8,00	170,8	658,59	613,3	252	3,9674
8,50	173,3	659,36	613,9	239	4,1915
9,00	175,8	660,12	614,5	227	4,4140
9,50	178,1	660,72	615,0	216	4,6353
10,00	180,3	661,49	615,6	206	4,8553
1	2	3	4	5	6

Die erste und zweite Reihe der vorstehenden Tabelle geben die Spannung und die correspondirende Temperatur des gesättigten Wasserdampfes, die dritte Reihe giebt die gesammte zur Bildung des Dampfes nöthige Wärmemenge nach der Formel von Regnault $606{,}5 + 0{,}305\ t$. Wir ersehen daraus, dass zur Bildung von Dampf von 100^0 aus Wasser von 0^0 637 Wärmeeinheiten nöthig sind. Hiervon sind jedoch nur 100^0 messbar, die übrigen 537 sind vom Wasser bei der Aenderung des Aggregatzustandes aufgenommen, und dieser Theil wird mit dem Namen latente Wärme bezeichnet, während ein Theil bei der Bildung des Dampfes in Arbeit verwandelt worden ist. Durch Subtraction der Zahlen in der zweiten und vierten Reihe zusammen von denen der dritten können wir diesen in Arbeit verwandelten Theil der Wärme finden. Die vierte Reihe ist nach der Formel von Zeuner, $J = 573{,}34 + 0{,}2342\ t$ berechnet. Rechnet man die in Arbeit verwandelte Wärme aus, so findet man, dass dieselbe nur in geringen Grenzen schwankt, sie beträgt für Dampf von 1 Atm. 40,1, für Dampf von 10 Atm. 46. Bei einem Druck von 4 Atm. hat der Dampf eine Temperatur von 144^0 und erfordert eine Gesammtwärme von 650,42 zur Bildung. Hätte man das Speisewasser mit einer Temperatur von 17^0 eingeführt, so wäre eine Zuführung von $633{,}42^0$ nöthig gewesen; die Quantität des verdampften Wassers ist umgekehrt proportional der zur Verdampfung nöthigen Wärmemenge, ist daher für Speisewasser von 17^0 eine Wärmemenge von 633,42 und für Speisewasser von 100^0 — 537, so ergiebt sich, dass dieselbe Quantität Brennmaterial im Stande sein würde, $\frac{633{,}42}{537} = 1{,}18$ mal so viel Wasser von 100^0 in Dampf von 4 Atm. umzuwandeln.

Es sei, allgemein ausgedrückt, v das verdampfte Wasserquantum in Kilo, dessen Anfangstemperatur t^0 und W die zur Verdampfung nöthige Wärmemenge nach Reihe 3 unserer Tabelle, so finden wir die Quantität v_1 Wasser von t^0, welche mit demselben Kohlenquantum verdampft werden könnte, wenn wir t_1 von der Wärmemenge subtrahiren, die nöthig sein würde, um Wasser von 0^0 in Dampf von 100^0 zu verwandeln, $= 637$, und mit dieser Summe dividiren.

$$v_1 = v\,\frac{W - t}{637 - t_1} \qquad (1)$$

für $t_1 = 0^0$ ist diese Formel $v_1 = v\,\frac{W - t}{637}$ (2)

für $t_1 = 100$ wird dieselbe $v_1 = v \frac{W-t}{537}$ (3)

In Deutschland ist es üblich, die Verdampfungs- oder Heizkraft einer Kohle nach Formel 2, also so zu bestimmen, dass die Zahl der Heizkraft angiebt, wie viel Kilo Wasser von 0^0 ein Kilo Kohle zu verdampfen im Stande ist, in England bezieht man dieselbe meist auf Speisewasser von 100^0, natürlich stellt sich in letzterem Falle die die Heizkraft ausdrückende Zahl höher als in ersterem.

Die Ersparniss, welche sich durch Erhitzen des Speisewassers erzielen lässt, ist aus obiger Betrachtung leicht zu ersehen, und kann für jeden besonderen Fall einfach berechnet werden. Haben wir bisher mit gewöhnlichem Brunnenwasser von durchschnittlich 10^0 C. gespeist, so war, um Dampf von 5 Atm. zu erzeugen, eine Wärmemenge von 652,92 — 10 = 642,92 erforderlich. Können wir nun durch einen wirksamen durch den Retourdampf oder anderweitig erhitzten Vorwärmer die Temperatur des Speisewassers auf 90^0 erhöhen, so bedürfen wir nur 652,92 — 90 = $562{,}92^0$ W.-E. Dies entspricht einer Ersparniss von $\frac{80{,}00}{642{,}92} = 12{,}4$ Proc.

Die Tabelle zeigt uns ferner, wie wenig mehr Wärme nöthig ist, um Dampf von hohen Spannungen, als solchen von niedriger Spannung zu erzeugen. Um 1 Kilo Dampf von 2 Atm. zu bilden, bedürfen wir einer Wärmemenge = 643,28. Mit nur 18,21 mehr, also einer Wärmemenge von 661,49, können wir ein gleiches Gewicht Dampf von 10 Atm. erzeugen, während also der Druck ein fünffacher ist, hat sich der Mehrverbrauch an Brennmaterial nur um 2,8 Proc. gesteigert.

Bei 4^0 C. ist das Gewicht eines Liters Wasser ein Kilogramm; da nun die Ausdehnung des Wassers in Folge von Temperaturänderungen eine sehr geringe ist, so können wir das in Reihe 5 gegebene Volumen für 1 Kilo Dampf als das specifische Volumen für die verschiedenen Temperaturen benutzen, in anderen Worten, für eine Temperatur von 100^0 giebt 1 Vol. Wasser 1695 Vol. Dampf. Oder finden wir, dass für einen bestimmten Zweck x Cubikmeter Dampf von 5 Atm. für eine gewisse Zeiteinheit nöthig sind, so müssen wir den Kessel so proportioniren, dass derselbe in derselben Zeit $\frac{x}{386}$ Cubikmeter oder $\frac{1000\,x}{386}$ Kilo Wasser zu verdampfen im Stande ist.

Siebenzehntes Capitel.

Bruchbelastung für schmiedeeiserne Rohre und Kessel.

A. Mit innerem Druck.

Die beistehenden Tabellen sind nach folgender Formel berechnet worden:

$$P = \frac{\delta \times C}{D},$$

worin die Bezeichnungen gelten:

P = Bruchbelastung in Kilogrammen pro Quadratcentimeter,
δ = Blechstärke in Millimetern,
D = Durchmesser (innerer) des Rohres in Centimetern,
C = eine Constante, welche

= 370 für einfache Vernietung
= 462 für doppelte Vernietung
} Eisenbleche,

= 504 für einfache Vernietung
= 630 für doppelte Vernietung
} Stahlbleche.

Diese Constante berechnet sich folgendermaassen: Die Bruchbelastung auf Zug für schmiedeeiserne Bleche zu 33, für Stahlbleche zu 45 Kilo pro Quadratmillimeter im Durchschnitt angenommen, und nach dem vierten Capitel die Stärke einer einfachen Nietnaht zu 56 Proc., die einer doppelten zu 70 Proc. festgestellt, ergiebt sich für die Stärke eines Cylinders für einfache Vernietung:

$$P \cdot D = 2\,\delta \cdot K \cdot \frac{56}{100},$$

und für doppelte Vernietung:

$$P \cdot D = 2\,\delta \cdot K \cdot \frac{70}{100},$$

oder den Werth für K zu 3300 Kilogramm eingesetzt, ergiebt sich für die Constante für einfache Nietung:

$$C = \frac{3300 \,.\, 2 \,.\, 56}{100} = 369{,}6 \sim 370$$

und für doppelte Nietung:

$$C = \frac{3300 \,.\, 2 \,.\, 70}{100} = 462.$$

Bei Benutzung der Tabelle ist natürlich zu berücksichtigen, dass in den gegebenen Zahlen der Sicherheits-Coëfficient (nach dem zehnten Capitel von 4 bis 6) nicht eingerechnet ist. Als Betriebsdruck ist der Druck über der Atmosphäre aufzufassen. Gesucht sei die Blechstärke für einen doppelt genieteten Kesselmantel von 180 Centimeter Durchmesser, der Betriebsdruck soll 5,4 Kilo pro Quadratcentimeter, der Sicherheitscoëfficient 6 betragen. Die Bruchbelastung ist demnach 32,4 Kilo. Nach Reihe VIII in der Tabelle (S. 372) ergiebt sich die Blechstärke zu 13 mm.

Rohre und Kessel

Bruchbelastung für schmiedeeiserne cylindrische

Durchmesser		Bruchbelastung in Kilogrammen pro Quadratcentimeter.		Durchmesser	
Blechstärke 6 mm	Blechstärke 12 mm	Einfache Vernietung	Doppelte Vernietung	Blechstärke 7 mm	Blechstärke 14 mm
50	100	44,40	55,44	50	100
55	110	40,36	50,40	55	110
60	120	37,00	46,20	60	120
65	130	34,15	42,65	65	130
70	140	31,71	39,60	70	140
75	150	29,60	36,96	75	150
80	160	27,75	34,65	80	160
85	170	26,12	32,61	85	170
90	180	24,67	30,80	90	180
95	190	23,37	29,18	95	190
100	200	22,20	27,72	100	200
105	210	21,14	26,40	105	210
110	220	20,18	25,20	110	220
115	230	19,30	24,10	115	230
120	240	18,85	23,10	120	240
125	250	17,76	22,18	125	250
130	260	17,08	21,32	130	260
135	270	16,44	20,53	135	270
140	280	15,86	19,80	140	280
145	290	15,31	19,12	145	290
150	300	14,80	18,48	150	300
155	310	14,32	17,88	155	310
160	320	13,88	17,33	160	320
165	330	13,45	16,80	165	330
170	340	13,06	16,31	170	340
175	350	12,69	15,84	175	350
180	360	12,33	15,40	180	360
185	370	12,00	14,98	185	370
190	380	11,68	14,59	190	380
195	390	11,38	14,22	195	390
200	400	11,10	13,86	200	400
I				II	

mit innerem Druck.

Rohre und Kessel mit Ueberblattungs-Vernietung.

Bruchbelastung in Kilogrammen pro Quadratcentimeter.		Durchmesser		Bruchbelastung in Kilogrammen pro Quadratcentimeter	
Einfache Vernietung	Doppelte Vernietung	Blechstärke 8 mm	Blechstärke 16 mm	Einfache Vernietung	Doppelte Vernietung
51,80	64,68	50	100	59,20	73,92
47,09	58,80	55	110	53,82	67,20
43,17	53,90	60	120	49,33	61,60
39,85	49,75	65	130	45,54	56,86
37,00	46,20	70	140	42,29	52,80
34,53	43,12	75	150	39,47	49,28
32,38	40,43	80	160	37,00	46,20
30,47	38,05	85	170	34,82	43,48
28,78	35,93	90	180	32,89	41,07
27,26	34,04	95	190	31,16	38,91
25,90	32,34	100	200	29,60	36,96
24,67	30,80	105	210	28,19	35,20
23,55	29,40	110	220	26,91	33,60
22,53	28,12	115	230	25,74	32,14
21,58	26,95	120	240	24,67	30,80
20,72	25,87	125	250	23,68	29,57
19,92	24,88	130	260	22,77	28,43
19,19	23,96	135	270	21,93	27,38
18,50	23,10	140	280	21,14	26,40
17,86	22,30	145	290	20,41	25,49
17,27	21,56	150	300	19,73	24,64
16,71	20,86	155	310	19,10	23,85
16,19	20,21	160	320	18,50	23,10
15,70	19,60	165	330	17,94	22,40
15,24	19,02	170	340	17,41	21,74
14,80	18,48	175	350	16,91	21,12
14,39	17,97	180	360	16,44	20,53
14,00	17,48	185	370	16,00	19,98
13,63	17,02	190	380	15,58	19,45
13,28	16,58	195	390	15,18	18,95
12,95	16,17	200	400	14,80	18,48
II		III			

Rohre und Kessel

Bruchbelastung für schmiedeeiserne, cylindrische

Durchmesser		Bruchbelastung in Kilogrammen pro Quadratcentimeter.		Durchmesser	
Blechstärke 9 mm	Blechstärke 18 mm	Einfache Vernietung	Doppelte Vernietung	Blechstärke 10 mm	Blechstärke 20 mm
50	100	66,60	83,16	80	160
55	110	60,55	75,60	85	170
60	120	55,50	69,30	90	180
65	130	51,23	63,97	95	190
70	140	47,57	59,40	100	200
75	150	44,40	55,44	105	210
80	160	41,63	51,98	110	220
85	170	39,18	48,92	115	230
90	180	37,00	46,20	120	240
95	190	35,05	43,77	125	250
100	200	33,30	41,58	130	260
105	210	31,71	39,60	135	270
110	220	30,27	37,80	140	280
115	230	28,96	36,16	145	290
120	240	27,75	34,65	150	300
125	250	26,64	33,26	155	310
130	260	25,62	31,98	160	320
135	270	24,67	30,80	165	330
140	280	23,77	29,70	170	340
145	290	22,97	28,68	175	350
150	300	22,20	27,72	180	360
155	310	21,48	26,83	185	370
160	320	20,81	25,99	190	380
165	330	20,18	25,20	195	390
170	340	19,59	24,46	200	400
175	350	19,03	23,76	205	410
180	360	18,50	23,10	210	420
185	370	18,00	22,48	215	430
190	380	17,53	21,88	220	440
195	390	17,08	21,32	225	450
200	400	16,65	20,79	230	460
				235	470
				240	480
IV				V	

mit innerem Druck.

Rohre und Kessel mit Ueberblattungs-Vernietung.

Bruchbelastung in Kilogrammen pro Quadratcentimeter.		Durchmesser		Bruchbelastung in Kilogrammen pro Quadratcentimeter.	
Einfache Vernietung	Doppelte Vernietung	Blechstärke 11 mm	Blechstärke 22 mm	Einfache Vernietung	Doppelte Vernietung
46,25	57,75	80	160	50,88	63,53
43,53	54,35	85	170	47,87	59,79
41,11	51,33	90	180	45,22	55,47
38,94	48,63	95	190	42,84	53,50
37,00	46,20	100	200	40,70	50,82
35,26	44,00	105	210	38,76	48,40
33,64	42,00	110	220	37,00	46,20
32,18	40,17	115	230	35,39	44,19
30,83	38,50	120	240	33,92	42,35
29,60	36,96	125	250	32,56	40,66
28,46	35,54	130	260	31,31	39,92
27,41	34,22	135	270	30,15	37,64
26,43	33,00	140	280	29,07	36,30
25,52	31,86	145	290	28,07	35,05
24,67	30,81	150	300	27,13	33,88
23,87	29,81	155	310	26,26	32,79
23,13	28,88	160	320	25,44	31,76
22,42	28,00	165	330	24,67	30,80
21,77	27,18	170	340	23,94	29,90
21,14	26,40	175	350	23,26	29,04
20,56	25,67	180	360	22,61	28,23
20,00	24,97	185	370	22,00	27,47
19,47	24,32	190	380	21,42	26,75
18,97	23,69	195	390	20,87	26,06
18,50	23,10	200	400	20,35	25,41
18,05	22,54	205	410	19,85	24,79
17,62	22,00	210	420	19,38	24,20
17,21	21,49	215	430	18,93	23,64
16,86	21,00	220	440	18,50	23,10
16,44	20,53	125	450	18,09	22,59
16,09	20,09	230	460	17,70	22,10
15,74	19,64	235	470	17,32	21,63
15,42	19,25	240	480	16,96	21,18
V		VI			

Rohre und Kessel

Bruchbelastung für schmiedeeiserne, cylindrische

Durchmesser		Bruchbelastung in Kilogrammen pro Quadratcentimeter.		Durchmesser	
Blechstärke 12 mm	Blechstärke 24 mm	Einfache Vernietung	Doppelte Vernietung	Blechstärke 13 mm	Blechstärke 26 mm
100	200	44,40	55,44	100	200
105	210	42,29	52,80	105	210
110	220	40,36	50,40	110	220
115	230	38,61	48,21	115	230
120	240	37,00	46,20	120	240
125	250	35,52	44,35	125	250
130	260	34,15	42,65	130	260
135	270	32,89	41,07	135	270
140	280	31,71	39,60	140	280
145	290	30,62	38,24	145	290
150	300	29,60	36,96	150	300
155	310	28,65	35,77	155	310
160	320	27,75	34,65	160	320
165	330	26,91	33,60	165	330
170	340	26,12	32,61	170	340
175	350	25,37	31,68	175	350
180	360	24,67	30,80	180	360
185	370	24,00	29,97	185	370
190	380	23,37	29,18	190	380
195	390	22,77	28,43	195	390
200	400	22,20	27,72	200	400
205	410	21,66	27,04	205	410
210	420	21,14	26,40	210	420
215	430	20,66	25,79	215	430
220	440	20,18	25,20	220	440
225	450	19,73	24,64	225	450
230	460	19,30	24,10	230	460
235	470	18,89	23,59	235	470
240	480	18,50	23,10	240	480
245	490	18,12	22,63	245	490
250	500	17,76	22,18	250	500
255	510	17,42	21,74	255	510
260	520	17,08	21,32	260	520
265	530	16,75	20,92	265	530
270	540	16,44	20,53	270	540
275	550	16,15	20,16	275	550
VII				VIII	

mit innerem Druck.

Rohre und Kessel mit Ueberblattungs-Vernietung.

Bruchbelastung in Kilogramm pro Quadratcentimeter.		Durchmesser		Bruchbelastung in Kilogrammen pro Quadratcentimeter.	
Einfache Vernietung	Doppelte Vernietung	Blechstärke 14 mm	Blechstärke 28 mm	Einfache Vernietung	Doppelte Vernietung
48,10	60,06	100	200	51,80	64,58
45,80	57,20	105	210	49,33	61,60
43,73	54,60	110	220	47,09	58,80
41,83	52,23	115	230	45,04	56,24
40,08	50,05	120	240	43,17	53,90
38,48	48,05	125	250	41,44	51,74
37,00	46,20	130	260	39,85	49,75
35,63	44,49	135	270	38,37	47,91
34,35	42,90	140	280	37,00	46,20
33,17	41,42	145	290	35,72	44,61
32,07	40,04	150	300	34,53	43,12
31,03	38,75	155	310	33,42	41,73
30,06	37,54	160	320	32,38	40,43
29,15	36,40	165	330	31,39	39,20
28,29	35,33	170	340	30,47	38,05
27,49	34,32	175	350	29,60	36,96
26,72	33,37	180	360	28,78	35,93
26,00	32,47	185	370	28,00	34,96
25,32	31,61	190	380	27,26	34,04
24,67	30,80	195	390	26,56	33,17
24,05	30,03	200	400	25,90	32,34
23,46	29,30	205	410	25,27	31,55
22,91	28,60	210	420	24,67	30,80
22,37	27,94	215	430	24,09	30,08
21,86	27,30	220	440	23,55	29,40
21,38	26,69	225	450	23,02	28,75
20,91	26,11	230	460	22,52	28,12
20,47	25,56	235	470	22,04	27,52
20,04	25,03	240	480	21,58	26,95
19,63	24,51	245	490	21,14	26,40
19,24	24,02	250	500	20,72	25,87
18,86	23,55	255	510	20,31	25,37
18,50	23,10	260	520	19,92	24,88
18,15	22,66	265	530	19,55	24,41
17,81	22,24	270	540	19,19	24,00
17,49	21,84	275	550	18,84	23,52
VIII		IX			

Rohre und Kessel mit innerem Druck.

Bruchbelastung für schmiedeeiserne, cylindrische Rohre und Kessel mit Ueberblattungs-Vernietung.

Durchmesser		Bruchbelastung in Kilogrammen pro Quadratcentimeter.	
Blechstärke 15 mm	Blechstärke 30 mm	Einfache Vernietung	Doppelte Vernietung
100	200	55,50	69,30
105	210	52,86	66,00
110	220	50,45	63,00
115	230	48,26	60,26
120	240	46,25	57,75
125	250	44,40	55,44
130	260	42,69	53,31
135	270	41,11	51,33
140	280	39,64	49,50
145	290	38,28	47,79
150	300	37,00	46,20
155	310	35,81	44,71
160	320	34,69	43,31
165	330	33,64	42,00
170	340	32,65	40,77
175	350	31,71	39,60
180	360	30,83	38,50
185	370	30,00	37,46
190	380	29,21	36,47
195	390	28,46	35,54
200	400	27,75	34,65
205	410	27,07	33,81
210	420	26,43	33,00
215	430	25,81	32,23
220	440	25,23	31,50
225	450	24,67	30,80
230	460	24,13	30,13
235	470	23,62	29,49
240	480	23,12	28,88
245	490	22,65	28,29
250	500	22,20	27,72
255	510	21,77	27,18
260	520	21,35	26,65
265	530	20,94	26,15
270	540	20,56	25,67
275	550	20,18	25,20

B. Rohre mit äusserem Druck.

In folgenden Tabellen ist der Druck, bei welchem schmiedeeiserne Rohre durch äusseren Druck zerstört werden, nach der auf S. 19 gegebenen Formel berechnet. Die Zahlen sind für genau cylindrische und solche Rohre giltig, die nur um die Blechdicke von der cylindrischen Form abweichen, wie mit Ueberblattung genietete Rohre. Da die Form besonders von langen Röhren eine sehr unregelmässige ist, oder es wenigstens sehr oft mit der Zeit durch die Einwirkung der Wärme, Kesselsteinbildung etc. wird, und für lange Rohre von den Enden keine Unterstützung zu erwarten ist, so sind die Zahlen der Tabelle mit einem verhältnissmässig hohen Sicherheitscoëfficienten zu benutzen. Derselbe sei in keinem Falle unter 4, bei neuen Constructionen, besonders wo die Möglichkeit vorliegt, dass der Betriebsdruck zuweilen oder sogar regelmässig überschritten wird, benutze man einen Sicherheitscoëfficienten von 6. Ueberhaupt muss die Wahl desselben dem Urtheile des Constructeurs überlassen werden, wie schon im zehnten Capitel besprochen wurde. Die Formel, nach der die Tabellen berechnet wurden, ist:

$$P = \frac{68\,\delta^2}{DL},$$

worin bezeichnet:

P = Druck in Kilogrammen pro Quadratcentimeter,
δ = Blechdicke in Millimetern,
D = Rohrdurchmesser in Centimetern,
L = Rohrlänge in Metern,
68 = eine Constante, die aus Fairbairn's Experimenten hergeleitet ist.

Es ist selbstredend, dass der Widerstand eines Rohres gegen das Zusammendrücken durch äusseren Druck nicht grösser sein kann, als die Bruchbelastung auf Druck im Material. Setzt man diese zu 22,5 Kilo pro Quadratmillimeter, so ist

$$22{,}5 \,.\, 2 \,.\, \delta = D \,.\, P,$$

und da $P = \frac{6800\,\delta^2}{DL}$, so ist

$$\frac{45\,\delta}{D} = \frac{6800\,\delta^2}{D} = P.$$

Hieraus ergiebt sich, dass wenn die Länge des Rohres 155mal so gross ist als die Blechdicke, so hat das Rohr gegen das Zusammendrücken und für die Druckfestigkeit des Materials gleichen Widerstand, ist die Länge im Verhältniss zur Dicke geringer, so ergiebt die Fairbairn'sche Formel höhere Resultate; um daher sicher zu gehen, sollte in solchen Fällen das Rohr mit Hilfe der Formel auf Druckfestigkeit berechnet werden. Für gewöhnliche schmiedeeiserne Rohre, die an den Enden mit den Kopfblechen des Kessels vernietet, und also durch diese ganz wesentlich verstärkt werden, ist dieser Umstand von keiner Bedeutung, wohl aber möchte es nöthig werden, denselben da zu berücksichtigen, wo Rohre einfach in die Rohrwände eingezogen sind, ohne mit diesen weiter verbunden zu sein. Für unendlich kleine Längen giebt die Fairbairn'sche Formel unendlich grosse Resultate.

Es sei die Blechstärke eines Rohres zu bestimmen, dessen Länge 6,5 Meter, Durchmesser 85 Centimeter sind, und welches mit fünffacher Sicherheit einen Druck von 4,5 Atmosphären betragen soll. Der Druck, bei welchem dasselbe zerstört werden würde, ist demnach $5 \times 4{,}5 = 22{,}5$ Kilo. Suchen wir in der ersten Reihe unter Rohrlänge bei 6,5 und unter Durchmesser bei 85, so finden wir, Seite 384, dass für 14 Millimeter Blechstärke der Druck 24,1 betragen darf, für 13 Millimeter Blechstärke ist derselbe nur 20,8, wir werden unser Rohr daher aus 14 Millimeter dicken Blechen anfertigen müssen, und ist in dem Falle unser Sicherheitscoëfficient $= \frac{24{,}1}{4{,}5} = 5{,}3$.

Schmiedeeiserne Rohre mit äusserem Druck.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem dieselben zusammengedrückt werden, Blechdicke 6 mm.

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern												
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
1,5	81,6	65,3	54,4	46,6	40,8	36,3	32,6	29,7	27,2	25,1	23,3	21,8	20,4
2,0	61,2	49,0	40,8	35,0	30,6	27,2	24,5	22,3	20,4	18,8	17,5	16,3	15,3
2,5	49,0	39,2	32,6	28,0	24,5	21,8	19,6	17,8	16,3	15,1	14,0	13,1	12,2
3,0	40,8	32,6	27,2	23,3	24,0	18,1	16,3	14,8	13,6	12,6	11,7	10,9	10,2
3,5	35,0	25,0	23,3	20,0	17,5	15,5	14,0	12,7	11,7	10,8	10,0	9,3	8,7
4,0	30,6	24,5	20,4	17,5	15,3	13,6	12,2	11,1	10,2	9,4	8,7	8,2	7,7
4,5	27,2	21,7	18,1	15,6	13,6	12,1	10,9	9,9	9,1	8,4	7,8	7,3	6,8
5,0	24,5	19,6	16,3	14,0	12,2	10,9	9,8	8,9	8,2	7,5	7,0	6,5	6,1
5,5	22,3	17,8	14,8	12,7	11,1	9,9	8,9	8,1	7,4	6,8	6,4	5,9	5,6
6,0	20,4	16,3	13,6	11,7	10,2	9,1	8,2	7,4	6,8	6,3	5,8	5,4	5,1

Blechdicke 7 mm.

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern												
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
1,5	111,1	88,9	74,0	63,5	55,5	49,4	44,4	40,4	37,0	34,0	31,7	29,6	27,8
2	83,3	66,6	55,5	47,6	41,7	37,0	33,3	30,3	27,8	25,6	23,8	22,2	20,8
2,5	66,6	53,3	44,4	38,1	33,3	29,6	26,6	24,2	22,2	20,5	19,0	17,8	16,7
3	55,5	44,4	37,0	31,7	27,8	24,7	22,2	20,2	18,5	17,0	15,9	14,8	13,9
3,5	47,6	38,1	31,7	27,2	23,8	21,1	19,0	17,3	15,9	14,6	13,6	12,7	11,9
4	41,6	33,3	27,7	23,8	20,9	18,5	16,7	15,1	13,9	12,8	11,9	11,1	10,4
4,5	37,0	29,6	24,7	21,2	18,5	16,4	14,8	13,5	12,3	11,4	10,6	9,9	9,3
5	33,3	26,7	22,2	19,0	16,7	14,8	13,3	12,1	11,1	10,3	9,5	8,9	8,3
5,5	30,3	24,2	20,2	17,3	15,1	13,5	12,1	11,0	10,1	9,3	8,7	8,1	7,6
6	27,8	22,2	18,5	15,9	13,9	12,3	11,1	10,0	9,3	8,5	7,9	7,4	6,9

Schmiedeeiserne Rohre mit äusserem Druck.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem dieselben zusammengedrückt werden.

Blechdicke 8 mm

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern																
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1,5	145,1	116,0	96,7	82,9	72,5	64,5	58,0	52,8	48,4	44,6	41,4	38,7	36,3	34,1	32,2	30,5	29,0
2	108,8	87,0	72,5	62,1	54,4	48,4	43,5	39,6	36,3	33,5	31,1	29,0	27,2	25,6	24,2	22,9	21,8
2,5	87,0	69,6	58,0	49,7	43,5	38,7	34,8	31,6	29,0	26,8	24,9	23,2	21,8	20,5	19,3	18,3	17,4
3	72,5	58,0	48,3	41,4	36,3	32,2	29,0	26,4	24,2	22,3	20,7	19,3	18,1	17,1	16,1	15,3	14,5
3,5	62,2	49,7	41,4	35,5	31,1	27,6	24,9	22,6	20,7	19,1	17,8	16,6	15,6	14,6	13,8	13,1	12,4
4	54,4	43,5	36,3	31,1	27,2	24,2	21,7	19,8	18,1	16,7	15,5	14,5	13,6	12,8	12,1	11,5	10,9
4,5	48,4	38,7	32,2	27,6	24,2	21,5	19,3	17,6	16,1	14,9	13,8	12,9	12,1	11,4	10,7	10,2	9,7
5	43,5	34,8	29,0	24,9	21,8	19,3	17,4	15,8	14,5	13,4	12,4	11,6	10,9	10,2	9,7	9,2	8,7
5,5	39,5	31,6	26,3	22,6	19,8	17,6	15,8	14,4	13,2	12,2	11,3	10,5	9,9	9,3	8,8	8,3	7,9
6	36,2	29,0	24,2	20,7	18,1	16,1	14,5	13,2	12,1	11,2	10,4	9,7	9,1	8,5	8,1	7,6	7,3
6,5	33,5	26,7	22,3	19,1	16,7	14,8	13,4	12,2	11,2	10,3	9,6	8,9	8,3	7,9	7,4	7,0	6,7
7	31,1	24,9	20,7	17,8	15,6	13,8	12,4	11,3	10,4	9,6	8,9	8,3	7,8	7,3	6,9	6,5	6,2
7,5	29,0	23,2	19,3	16,6	14,5	12,9	11,6	10,5	9,7	8,9	8,3	7,7	7,3	6,8	6,4	6,1	5,8
8	27,2	21,8	18,1	15,5	13,6	12,1	10,9	9,9	9,1	8,4	7,8	7,3	6,8	6,4	6,0	5,7	5,4
8,5	25,6	20,5	17,0	14,6	12,8	11,4	10,2	9,3	8,5	7,9	7,3	6,8	6,4	6,0	5,7	5,4	5,1
9	24,2	19,4	16,1	13,8	12,1	10,8	9,7	8,8	8,1	7,4	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4	5,1	4,8
9,5	22,9	18,3	15,3	13,0	11,5	10,2	9,2	8,3	7,6	7,0	6,5	6,1	5,7	5,4	5,1	4,8	4,6
10	21,8	17,4	14,5	12,4	10,9	9,7	8,7	7,9	7,3	6,7	6,2	5,7	5,4	5,1	4,8	4,6	4,4

Schmiedeeiserne Rohre mit äusserem Druck.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem dieselben zusammengedrückt werden.

Blechdicke 9 mm

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern																
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1,5	183,6	146,9	122,4	104,9	91,8	81,6	73,4	66,8	61,2	56,5	52,5	49,0	45,9	43,2	40,8	38,7	36,7
2	137,7	110,2	91,8	78,7	68,9	61,2	55,1	50,1	45,9	42,4	39,3	36,6	34,4	32,4	30,6	29,0	27,5
2,5	110,1	88,1	73,4	62,9	55,1	48,9	44,1	40,1	36,7	33,9	31,5	29,4	27,5	25,9	24,5	23,2	22,0
3	91,8	73,4	61,2	52,5	45,9	40,8	36,7	33,4	30,6	28,2	26,2	24,5	23,0	21,6	20,4	19,3	18,4
3,5	78,7	63,0	52,5	45,0	39,4	35,0	31,5	28,6	26,2	24,2	22,5	21,0	19,7	18,5	17,5	16,6	15,7
4	68,9	55,1	45,9	39,4	34,4	30,6	27,5	25,0	23,0	21,2	19,7	18,4	17,2	16,2	15,3	14,5	13,8
4,5	61,2	49,0	40,8	35,0	30,6	27,2	24,5	22,3	20,4	18,8	17,5	16,3	15,3	14,4	13,6	12,9	12,2
5	55,1	44,0	36,7	31,5	27,5	24,5	22,0	20,0	18,4	17,0	15,7	14,7	13,8	13,0	12,2	11,6	11,0
5,5	50,1	40,0	33,4	28,6	25,0	22,3	20,0	18,2	16,7	15,4	14,3	13,4	12,5	11,8	11,1	19,5	10,0
6	45,9	36,7	30,6	26,2	23,0	20,4	18,4	16,7	15,3	14,1	13,1	12,2	11,5	10,8	10,2	9,7	9,2
6,5	42,4	33,9	28,2	24,2	21,2	18,8	16,9	15,4	14,1	13,0	12,1	11,3	10,6	10,0	9,4	8,9	8,5
7	39,4	31,5	26,2	22,5	19,7	17,5	15,7	14,3	13,1	12,1	11,2	10,5	9,8	9,3	8,7	8,3	7,9
7,5	36,8	29,4	24,5	21,0	18,4	16,3	14,7	13,4	12,3	11,3	10,5	9,8	9,2	8,6	8,2	7,7	7,4
8	34,8	27,6	23,0	19,7	17,2	15,3	13,8	12,5	11,5	10,6	9,8	9,2	8,6	8,1	7,7	7,2	6,9
8,5	32,4	26,0	21,6	18,5	16,2	14,4	13,0	11,8	10,8	10,0	9,3	8,6	8,1	7,6	7,2	6,8	6,5
9	30,6	24,5	20,4	17,5	15,3	13,6	12,2	11,1	10,2	9,4	8,7	8,2	7,7	7,2	6,8	6,4	6,1
9,5	29,0	23,2	19,3	16,5	14,5	12,9	11,6	10,5	9,7	8,9	8,3	7,7	7,3	6,8	6,4	6,1	5,8
10	27,6	22,0	18,4	15,7	13,8	12,2	11,0	10,0	9,2	8,5	7,9	7,3	6,9	6,5	6,1	5,8	5,5

Schmiedeeiserne Rohre mit äusserem Druck.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem dieselben zusammengedrückt werden.

Blechdicke 10 mm

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern																
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1,5	226,7	181,3	151,1	129,5	113,3	100,7	90,7	82,4	75,6	69,7	64,8	60,4	56,7	53,3	50,3	47,7	45,3
2	170,0	136,0	113,3	97,1	85,0	75,6	68,0	61,8	56,7	52,3	48,6	45,3	42,5	40,0	37,8	35,8	34,0
2,5	136,0	109,0	90,7	77,7	68,0	60,4	54,4	49,5	45,3	41,8	38,9	36,3	34,0	32,0	30,2	28,6	27,2
3	113,4	90,7	75,6	64,8	56,7	50,4	45,3	41,2	37,8	34,9	32,4	30,2	28,3	26,7	25,2	23,9	22,7
3,5	97,2	77,7	64,8	55,5	48,6	43,2	38,9	35,3	32,4	29,9	27,8	25,9	24,3	22,9	21,6	20,5	19,4
4	85,0	68,0	56,7	48,6	42,5	37,8	34,0	30,9	28,3	26,2	24,3	22,7	21,3	20,0	18,9	17,9	17,0
4,5	75,6	60,4	50,2	43,2	37,8	33,6	30,2	27,5	25,2	23,2	21,6	20,2	18,9	17,8	16,8	15,9	15,1
5	68,0	54,4	45,3	38,9	34,0	30,2	27,2	24,7	22,7	20,9	19,4	18,1	17,0	16,0	15,1	14,3	13,6
5,5	61,8	49,4	41,2	35,3	30,9	27,5	24,7	22,5	20,6	19,0	17,7	16,5	15,5	14,5	13,7	13,0	12,4
6	56,7	45,3	37,8	32,4	28,3	25,2	22,7	20,6	18,9	17,4	16,2	15,1	14,2	13,3	12,6	11,9	11,3
6,5	52,3	41,8	34,9	30,0	26,2	23,2	20,9	19,0	17,4	16,1	14,9	13,9	13,1	12,3	11,6	11,0	10,5
7	48,6	38,8	32,4	27,8	24,3	21,6	19,4	17,7	16,2	15,0	13,9	13,0	12,2	11,4	10,8	10,2	9,7
7,5	45,4	36,3	30,2	25,9	22,7	20,2	18,1	16,5	15,1	14,0	13,0	12,1	11,3	10,7	10,1	9,5	9,1
8	42,5	34,0	28,3	24,3	21,3	18,9	17,0	15,5	14,2	13,1	12,1	11,3	10,6	10,0	9,4	8,9	8,5
8,5	40,0	32,0	26,7	22,9	20,0	17,8	16,0	14,5	13,3	12,3	11,4	10,7	10,0	9,4	8,9	8,4	8,0
9	37,8	30,2	25,2	21,6	18,9	16,8	15,1	13,7	12,6	11,6	10,8	10,1	9,5	8,9	8,4	8,0	7,6
9,5	35,8	28,6	23,8	20,5	17,6	15,9	14,3	13,0	11,9	11,0	10,2	9,5	9,0	8,4	8,0	7,5	7,2
10	34,0	27,2	22,7	19,4	17,0	15,1	13,6	12,4	11,3	10,5	9,7	9,1	8,5	8,0	7,6	7,2	6,8
10,5	32,4	25,9	21,6	18,5	16,2	14,4	13,0	11,8	10,8	10,0	9,3	8,6	8,1	7,6	7,2	6,8	6,5
11	30,9	24,7	20,6	17,7	15,5	13,7	12,4	11,3	10,3	9,5	8,8	8,2	7,7	7,3	6,9	6,5	6,2
11,5	29,6	23,7	19,7	16,9	14,8	13,1	11,8	10,8	9,9	9,1	8,5	7,9	7,4	7,0	6,6	6,2	5,9
12	28,3	22,7	18,9	16,2	14,2	12,6	11,3	10,3	9,4	8,7	8,1	7,6	7,1	6,7	6,3	6,0	5,7

Schmiedeeiserne Rohre mit äusserem Druck.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem dieselben zusammengedrückt werden.

Blechdicke 11 mm

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern																
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1,5	274,3	219,4	182,8	156,7	137,4	121,9	109,7	99,7	91,4	84,4	78,4	73,1	68,5	64,5	61,0	57,7	54,9
2	205,7	164,5	137,1	117,5	102,9	91,4	82,3	74,8	68,6	63,3	58,8	54,9	51,4	48,4	45,7	43,3	41,1
2,5	164,6	131,6	101,0	94,0	82,3	73,1	65,8	59,8	54,9	50,6	47,0	43,9	41,1	38,7	36,6	34,6	33,0
3	137,1	109,7	91,4	78,4	68,6	61,0	54,9	49,9	45,7	42,2	39,2	36,6	34,3	32,3	30,5	28,9	27,4
3,5	117,6	94,0	78,4	67,2	58,8	52,2	47,0	42,7	39,2	36,2	33,6	31,3	29,4	27,7	26,1	24,7	23,5
4	102,4	82,3	68,6	58,8	51,4	45,7	41,1	37,4	34,3	31,6	29,4	27,4	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6
4,5	91,4	73,1	60,9	52,2	45,7	40,6	36,6	33,2	30,5	28,1	26,1	24,4	22,9	21,5	20,3	19,2	18,3
5	82,3	65,8	54,9	47,0	41,2	36,6	32,9	29,9	27,4	25,3	23,5	21,9	20,6	19,4	18,3	17,3	16,5
5,5	74,8	59,8	49,9	42,7	37,4	33,2	29,9	27,2	24,9	23,0	21,4	19,9	18,7	17,6	16,6	15,7	15,0
6	68,6	54,9	45,7	39,2	34,3	30,5	27,4	24,9	22,9	21,1	19,6	18,3	17,1	16,1	15,2	14,4	13,7
6,5	61,3	49,0	40,9	35,0	30,6	27,2	24,5	22,3	20,4	18,9	17,5	16,3	15,3	14,4	13,6	12,9	12,3
7	58,8	47,4	39,2	33,6	29,4	26,1	13,5	21,4	19,6	18,1	16,8	15,7	14,7	13,8	13,1	12,4	11,8
7,5	54,9	43,9	36,6	31,3	27,4	24,4	21,9	19,9	18,3	16,9	15,7	14,6	13,7	12,9	12,2	11,5	11,0
8	51,4	41,1	34,3	29,4	25,7	22,9	20,6	18,7	17,1	15,8	14,7	13,7	12,9	12,1	11,4	10,8	10,3
8,5	48,4	38,7	32,3	27,6	24,2	21,5	19,4	17,6	16,1	14,9	13,8	12,9	12,1	11,4	10,8	10,2	9,7
9	45,7	36,6	30,5	26,1	22,9	20,3	18,2	16,6	15,2	14,1	13,1	12,2	11,4	10,8	10,2	9,6	9,1
9,5	43,3	34,6	28,9	24,7	21,7	19,2	17,3	15,7	14,4	13,3	12,4	11,5	10,8	10,2	9,6	9,1	8,7
10	41,2	32,9	27,4	23,5	20,6	18,3	16,5	15,0	13,7	12,7	11,8	11,0	10,3	9,7	9,2	8,7	8,2
10,5	39,2	31,3	26,1	22,4	19,6	17,4	15,7	14,2	13,1	12,1	11,2	10,5	9,8	9,2	8,7	8,3	7,8
11	37,4	29,9	24,4	21,4	18,7	16,6	15,0	13,6	12,5	11,5	10,7	10,0	9,4	8,8	8,3	7,9	7,5
11,5	35,8	28,6	23,9	20,4	17,9	16,0	14,3	13,0	11,9	11,0	10,2	9,5	8,9	8,4	7,9	7,5	7,2
12	34,3	27,4	22,9	19,6	17,2	15,2	13,7	12,5	11,4	10,6	9,8	9,1	8,6	8,0	7,6	7,2	6,9

Schmiedeeiserne Rohre mit äusserem Druck.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem dieselben zusammengedrückt werden.

Blechdicke 12 mm

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern																			
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
1,5	326,4	261,1	217,6	186,5	163,2	145,1	130,6	118,7	108,8	100,4	93,3	87,0	81,6	76,8	72,5	68,7	65,3	62,2	59,3	56,7	54,4
2	244,8	195,8	163,2	139,9	122,4	108,8	97,9	89,0	81,6	75,3	69,9	65,3	61,2	57,6	54,4	51,5	49,0	46,6	44,5	42,6	40,8
2,5	195,9	156,7	130,6	111,9	97,9	87,0	78,3	71,2	65,3	60,3	56,0	52,2	49,0	46,1	43,5	41,2	39,2	37,3	35,6	34,1	32,6
3	163,2	130,6	108,8	93,3	81,6	72,5	65,3	59,3	54,4	50,2	46,7	43,5	40,8	38,4	36,3	34,4	32,6	31,1	29,7	28,4	27,2
3,5	139,9	111,9	93,3	79,9	70,0	62,2	56,0	50,9	46,6	43,0	40,0	37,3	35,0	32,9	31,1	29,5	28,0	26,6	25,4	24,3	23,3
4	122,4	97,9	81,6	69,9	61,2	54,4	49,0	44,5	40,8	37,7	35,0	32,6	30,6	28,8	27,2	25,8	24,5	23,3	22,3	21,3	20,4
4,5	108,8	87,0	72,5	62,2	54,4	48,4	43,5	39,6	36,3	33,5	31,1	29,0	27,2	25,6	24,2	22,9	21,8	20,7	19,8	18,9	18,1
5	97,9	78,3	65,3	56,0	49,0	43,5	39,2	35,6	32,6	30,2	28,0	26,1	24,5	23,0	21,8	20 6	19,6	18,7	17,8	17,0	16,4
5,5	89,0	71,2	59,3	50,9	44,5	39,6	35,6	32,4	29,7	27,4	25,4	23,7	22,2	20,9	19,8	18,7	17,8	17,0	16,2	15,5	14,8
6	81,6	65,2	54,4	46,6	40,8	36,3	32,6	29,7	27,2	25,1	23,3	21,8	20,4	19,2	18,1	17,2	16,3	15,5	14,8	14,2	13,6
6,5	75,3	60,3	50,2	43,0	37,7	33,5	30,1	27,4	25,1	23,2	21,5	20,1	18,8	17,7	16,7	15,9	15,1	14,3	13,7	13,1	12,6
7	70,0	56,0	46,6	40,0	35,0	31,1	28,0	25,4	23,3	21,5	20,0	18,7	17,5	16,5	15,5	14,7	14,0	13,3	12,7	12,2	11,7
7,5	65,3	52,2	43,5	37,3	32,6	29,0	26,1	23,7	21,8	20,1	18,7	17,4	16,3	15,4	14,5	13,7	13,0	12,4	11,9	11,3	10,9
8	61,2	49,0	40,8	35,0	30,6	27,2	24,5	22,3	20,4	18,8	17,5	16,3	15,3	14,4	13,6	12,9	12,2	11,7	11,1	10,6	10,2
8,5	57,6	46,1	38,4	32,9	28,8	25,6	23,0	20,9	19,2	17,7	16,5	15,4	14,4	13,6	12,8	12,1	11,5	11,0	10,5	10,0	9,6
9	54,4	43,5	36,3	31,1	27,2	24,2	21,8	19,8	18,1	16,4	15,5	14,5	13,6	12,8	12,1	11,5	10,9	10,4	9,9	9,5	9,1
9,5	51,5	41,2	34,4	29,5	25,8	22,9	20,6	18,7	17,2	15,9	14,7	13,7	12,9	12,1	11,5	10,9	10,3	9,8	9,4	9,0	8,6
10	49,0	39,2	32,6	28,0	24,5	21,8	19,6	17,8	16,3	15,1	14,0	13,1	12,2	11,5	10,9	10,3	9,8	9,3	8,9	8,5	8,1
10,5	46,6	37,3	31,1	26,7	23,3	20,7	18,6	17,0	15,5	14,3	13,3	12,4	11,7	11,0	10,4	9,8	9,3	8,9	8,5	8,1	7,8
11	44,5	35,6	29,7	25,4	22,3	19,8	17,8	16,2	14,8	13,7	12,7	11,9	11,1	10,5	9,9	9,4	8,9	8,5	8,1	7,7	7,4
11,5	42,6	34,1	28,4	24,3	21,3	18,9	17,0	15,5	14,2	13,1	12,2	11,4	10,7	10,0	9,5	9,0	8,5	8,1	7,7	7,4	7,1
12	40,8	32,6	27,2	23,3	20,4	18,1	16,3	14,8	13,6	12,6	11,7	10,9	10,2	9,6	9,1	8,6	8,2	7,8	7,4	7,1	6,8

Schmiedeeiserne Rohre mit äusserem Druck.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem dieselben zusammengedrückt werden.

Blechdicke 13 mm

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern																				
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
1,5	383,1	306,4	255,3	218,9	191,5	170,2	153,2	139,3	127,7	117,9	109,4	102,1	95,8	90,1	85,1	80,6	76,6	73,0	69,9	66,6	63,8
2	287,3	229,8	191,5	164,2	143,7	127,7	114,9	104,5	95,8	88,4	82,1	76,6	71,8	67,6	63,8	60,5	57,5	54,7	52,2	50,0	47,8
2,5	229,9	183,9	153,2	131,3	114,9	102,1	91,8	83,6	76,6	70,7	65,7	61,3	57,5	54,1	51,1	48,4	46,0	43,8	41,8	40,0	38,3
3	191,5	153,2	127,7	109,4	95,7	85,1	76,6	69,6	63,8	58,9	54,7	51,1	47,9	45,1	42,6	40,3	38,3	36,5	34,8	33,3	31,9
3,5	164,2	131,4	109,5	93,8	82,1	73,0	65,7	59,7	54,7	50,5	46,9	43,8	41,1	38,6	36,5	34,6	32,8	31,3	29,8	28,6	27,4
4	143,6	114,9	95,8	82,1	71,8	63,8	57,5	52,2	47,9	44,2	41,0	38,3	35,9	33,8	31,9	30,2	28,7	27,4	26,1	25,0	23,9
4,5	127,7	102,2	85,1	73,0	63,9	56,8	51,1	46,4	42,6	39,3	36,5	34,1	31,9	30,0	28,4	26,9	25,5	24,3	23,2	22,2	21,3
5	114,9	91,9	76,6	65,7	57,5	51,1	46,0	41,8	38,3	35,4	32,8	30,7	28,7	27,0	15,5	24,2	23,0	21,9	20,9	20,0	19,2
5,5	104,5	83,6	69,6	59,7	52,2	46,4	41,8	38,0	34,8	32,1	29,8	27,9	26,1	24,6	23,2	22,0	20,9	19,9	19,0	18,2	17,4
6	95,8	76,6	63,8	54,7	47,9	42,6	38,3	34,8	31,9	29,5	27,4	25,5	23,9	22,5	21,3	20,2	19,2	18,3	17,4	16,7	16,0
6,5	88,4	70,7	58,9	50,5	44,2	39,3	35,4	32,1	29,5	27,2	25,3	23,6	22,1	20,8	19,6	18,6	17,7	16,8	16,1	15,4	14,7
7	82,1	65,7	54,7	46,9	41,1	36,5	32,8	29,8	27,4	25,3	23,5	21,9	20,5	19,3	18,2	17,3	16,4	15,6	14,9	14,3	13,6
7,5	76,6	61,3	51,1	43,8	38,3	34,0	30,6	27,9	25,5	23,6	21,9	20,4	19,2	18,0	17,0	16,1	15,3	14,6	13,9	13,4	12,8
8	71,8	57,4	47,9	41,1	35,9	31,9	28,7	26,1	23,9	22,1	20,5	19,1	18,0	16,9	16,0	15,1	14,4	13,7	13,1	12,5	11,9
8,5	67,6	54,1	45,1	38,6	33,8	30,0	27,0	24,6	22,6	20,8	19,3	18,0	16,9	15,9	15,0	14,2	13,5	12,9	12,3	11,8	11,3
9	63,9	51,1	42,6	36,5	31,9	28,4	25,6	23,2	21,3	19,6	18,2	17,0	16,0	15,0	14,2	13,5	12,8	12,2	11,6	11,1	10,6
9,5	60,5	48,4	40,3	34,5	30,2	26,9	24,1	22,0	20,2	18,6	17,3	16,1	15,1	14,2	13,4	12,7	12,1	11,5	11,0	10,5	10,1
10	57,4	46,0	38,3	32,8	28,7	25,5	23,0	20,9	19,2	17,7	16,4	15,3	14,4	13,5	12,8	12,1	11,5	10,9	10,4	10,0	9,6
10,5	54,7	43,8	36,5	31,3	27,4	24,3	21,9	19,9	18,2	16,8	15,6	14,6	13,7	12,9	12,2	11,5	11,0	10,4	9,9	9,5	9,1
11	52,2	41,8	34,8	29,8	26,1	23,2	20,9	19,0	17,4	16,1	14,9	13,9	13,1	12,3	11,6	11,0	10,4	9,9	9,5	9,1	8,7
11,5	50,0	40,0	33,3	28,6	25,0	22,2	20,0	18,2	16,7	15,4	14,3	13,3	12,5	11,8	11,1	10,5	10,0	9,5	9,1	8,7	8,3
12	47,9	38,3	31,9	27,3	24,0	21,3	19,2	17,4	16,0	14,7	13,7	12,8	12,0	11,3	10,6	10,1	9,6	9,1	8,7	8,3	8,0

Schmiedeeiserne Rohre mit äusserem Druck.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem dieselben zusammengedrückt werden.

Blechdicke 14 mm

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern																				
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
1,5	444,3	355,4	296,2	253,9	222,1	197,4	177,7	161,5	148,1	136,7	126,9	118,5	111,1	104,5	98,7	93,5	88,9	84,6	80,8	77,3	74,0
1	333,2	266,6	222,1	190,4	166,6	148,1	133,3	121,2	111,1	102,5	95,2	88,9	83,3	78,4	74,0	70,1	66,6	63,5	60,6	57,9	55,5
2,5	266,6	213,2	177,7	152,3	133,3	118,5	106,6	97,0	88,9	82,0	76,2	71,1	66,6	62,7	59,2	56,1	53,3	50,8	48,5	46,4	44,4
3	222,1	177,7	148,1	126,9	111,1	98,7	88,8	80,8	74,1	68,4	63,5	59,2	55,6	52,2	49,4	46,8	44,4	42,3	40,4	38,6	37,0
3,5	190,4	152,3	126,9	108,8	95,2	84,6	76,2	69,2	63,5	58,6	54,4	50,8	47,6	44,8	42,3	40,1	38,1	36,3	34,6	33,1	31,7
4	166,6	133,3	111,1	95,2	83,3	74,0	66,6	60,6	55,5	51,3	47,6	44,4	41,7	39,2	37,0	35,1	33,3	31,7	30,3	29,0	27,8
4,5	148,1	118,5	98,7	84,6	74,0	65,8	59,2	53,8	49,4	45,6	42,3	39,5	37,0	34,8	32,9	31,2	29,6	28,2	26,9	25,7	24,7
5	133,3	106,6	88,9	76,2	66,6	59,2	53,3	48,5	44,4	41,0	38,1	35,5	33,3	31,4	29,6	28,1	26,7	25,4	24,2	23,2	22,2
5,5	121,2	97,0	80,8	69,2	60,6	53,8	48,5	44,1	40,4	37,2	34,6	32,3	30,3	28,5	26,9	25,5	24,2	23,1	22,0	21,1	20,2
6	111,1	88,8	74,0	63,5	55,5	49,4	44,4	40,4	37,0	34,2	31,7	29,6	27,8	26,1	24,7	23,4	22,2	21,1	20,2	19,3	18,5
6,5	102,5	82,0	68,3	58,6	51,3	45,6	41,0	37,3	34,2	31,5	29,3	27,3	25,6	24,1	22,8	21,6	20,5	19,5	18,6	17,8	17,1
7	95,2	76,2	63,5	54,4	47,6	42,3	38,1	34,6	31,7	29,3	27,2	25,4	23,8	22,4	21,2	20,0	19,0	18,1	17,3	16,6	15,9
7,5	88,9	71,1	59,2	50,8	44,4	39,5	35,5	32,3	29,6	27,3	25,4	23,7	22,2	20,9	19,7	18,7	17,8	16,9	16,2	15,5	14,8
8	83,3	66,6	55,5	47,6	41,7	37,0	33,3	30,3	27,8	25,6	23,8	22,2	20,8	19,6	18,5	17,5	16,7	15,9	15,1	14,5	13,9
8,5	78,4	62,7	52,3	44,8	39,2	34,8	31,4	28,5	26,1	24,1	22,4	20,9	19,6	18,4	17,4	16,5	15,7	14,9	14,2	13,6	13,1
9	74,0	59,2	49,4	42,3	37,0	32,9	29,6	26,9	24,7	22,8	21,2	19,7	18,5	17,4	16,5	15,6	14,8	14,1	13,5	12,9	12,3
9,5	70,1	56,1	46,8	40,1	35,1	31,2	28,1	25,5	23,4	21,6	20,0	18,7	17,5	16,5	15,6	14,8	14,0	13,4	12,7	12,2	11,7
10	66,7	53,3	44,4	38,1	33,3	29,6	26,7	24,2	22,2	20,5	19,0	17,8	16,7	15,7	14,8	14,0	13,3	12,8	12,1	11,6	11,1
10,5	63,5	50,8	42,2	36,3	31,7	28,2	25,4	23,1	21,2	19,5	18,1	16,9	15,9	14.9	14,1	13,4	12,7	12,1	11,5	11,0	10,6
11	60,6	48,5	40,4	34,6	30,3	26,9	24,2	22,0	20,2	18,6	17,3	16,2	15,1	14,3	13,5	12,8	12,1	11,5	11,0	10,5	10,1
11,5	58,0	46,4	38,6	33,1	29,0	25,8	23,2	21,1	19,3	17,8	16,6	15,5	14,5	13,6	12,9	12,2	11,6	11,0	10,5	10,1	9,7
12	55,5	44,4	37,0	31,7	27,8	24,7	22,2	21,8	18,5	17,0	15,9	14,8	13,9	13,1	12,4	11,7	11,1	10 6	10,1	9,7	9,3

Schmiedeeiserne Rohre mit äusserem Druck.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem dieselben zusammengedrückt werden.

Blechdicke 15 mm

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern																				
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
1,5	510,0	408,0	340,0	291,4	255,0	226,7	204,0	185,4	170,0	157,0	145,7	136,0	127,5	120,0	113,3	107,4	102,0	97,1	92,7	88,7	85,0
2	382,5	306,0	255,0	218,6	191,3	170,0	153,0	139,1	127,5	117,7	109,3	102,0	95,6	90,0	85,0	80,6	76,5	72,9	69,5	66,5	63,8
2,5	306,0	244,8	204,0	174,9	153,0	136,0	122,4	111,3	102,0	94,2	87,4	81,6	76,5	72,0	68,0	64,4	61,2	58,3	55,6	53,2	51,0
3	255,0	204,9	170,0	145,7	127,5	113,3	102,0	92,7	85,0	80,0	72,9	68,0	63,8	60,0	56,7	53,7	51,0	48,6	46,4	44,3	42,5
3,5	218,6	174,8	145,7	124,9	109,3	97,1	87,4	79,5	72,9	67,2	62,4	58,3	54,6	51,4	48,6	46,0	43,7	41,6	39,7	38,0	36,4
4	191,3	153,0	127,5	109,3	95,6	85,0	76,5	69,5	63,8	58,8	54,6	51,0	47,8	45,0	42,5	40,3	38,3	36,4	34,8	33,3	31,9
4,5	170,0	136,0	113,3	97,0	85,0	75,6	68,0	61,8	56,7	52,3	48,6	45,3	42,5	40,0	37,8	35,8	34,0	32,4	30,9	29,6	28,3
5	153,0	122,4	102,0	87,4	76,5	68,0	61,2	55,6	51,0	47,1	43,7	40,8	38,3	36,0	34,0	32,2	30,6	29,1	27.8	26,6	25,5
5,5	139,1	111,3	92,7	79,5	69,6	61,8	55,6	50,6	46,4	42,8	39,7	37,1	34,8	32,7	30,9	29,3	27,8	26,5	25,3	24,2	23,2
6	127,5	102,0	85,0	72,9	63,8	56,7	51,0	46,4	42,5	39,2	36,4	34,0	31,9	30,0	28,3	26,8	25,5	24,3	23,1	22,2	21,3
6,5	117,7	94,2	78,5	67,3	58,9	52,3	47,1	42,8	39,2	36,2	33,6	31,4	29,4	27,7	26,2	24,8	23,5	22,4	21,4	20,5	19,6
7	109,3	87,4	72,9	62,5	54,7	48,6	43,7	39,7	36,4	33,6	31,2	29,1	27,3	25,7	24,3	23,0	21,9	20,8	19,9	19,0	18,2
7,5	102,0	81,6	68,0	58,3	51,0	45,4	40,8	37,1	34,0	31,4	29,1	27,2	25,5	24,0	22,7	21,5	20,4	19,4	18,5	17,7	17,0
8	95,6	76,5	63,7	54,6	47,8	42,7	38,2	34,8	31,9	29,4	27,3	25,5	23,9	22,5	21,2	20,1	19,1	18,2	17,4	16,6	15,9
8,5	90,0	72,0	60,0	51,4	45,0	40,0	36,0	32,7	30,0	27,7	25,7	24,0	22,5	21,2	20,0	18,9	18,0	17,1	16,4	15,7	15,0
9	85,0	68,0	56,7	48,6	42,5	37,8	34,0	30,9	28,3	26,2	24,3	22,7	21,3	20,0	18,9	17,9	17,0	16,2	15,5	14,8	14,2
9,5	80,5	64,4	53,7	46,0	40,3	35,8	32,2	29,3	26,9	24,8	23,0	21,5	20,1	19,0	17,9	17,0	16,1	15,3	14,6	14,0	13,4
10	76,5	61,2	51,3	43,7	38,3	34,0	30,6	27,8	25,5	23,5	21,9	20,4	19,1	18,0	17,0	16,1	15,3	14,6	13,9	13,3	12,8
10,5	72,9	58,3	48,6	41,6	36,4	32,4	29,1	26,5	24,3	22,4	20,8	19,4	18,2	17,1	16,2	15,3	14,6	13,9	13,2	12,7	12,1
11	69,5	55,6	46,3	39,7	34,8	30,9	27,8	25,2	23,2	21,4	19,9	18,5	17,4	16,4	15,4	14,6	13,9	13,2	12,6	12,1	11,6
11,5	66,5	53,2	44,3	38,0	33,3	29,6	26,6	24,2	22,2	20,5	19,0	17,7	16,6	15,6	14,8	14,0	13,3	12,7	12,1	11,6	11,1
12	63,8	51,0	42,5	36,4	31,9	28,3	25,5	23,2	21,3	19,6	18,2	17,0	15,9	15,0	14,2	13,4	12,8	12,1	11,6	11,1	10,6

Schmiedeeiserne Rohre mit äusserem Druck.

Druck in Kilo pro Quadratcentimeter, bei welchem dieselben zusammengedrückt werden.

Blechdicke 16 mm

Rohrlänge in m	Durchmesser in Centimetern																				
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
1,5	580,3	464,2	386,9	331,6	290,2	257,9	232,1	211,0	193,4	178,6	165,8	154,7	145,0	136,5	129,0	122,2	116,0	110,5	105,5	100,9	96,7
2	435,2	348,2	290,1	248,6	217,6	193,4	174,1	158,3	145,1	133,9	124,3	116,1	108,8	102,4	96,7	91,6	87,0	82,9	79,1	75,7	72,5
2,5	348,1	278,5	232,1	198,9	174,1	154,7	139,3	126,6	116,1	107,1	99,5	92,8	87,0	81,9	77,4	73,3	69,6	66,3	63,3	60,6	58,0
3	290,1	232,1	193,4	165,8	145,1	128,9	116,1	105,5	96,7	89,3	82,9	77,4	72,5	68,3	64,5	61,1	58,0	55,3	52,8	50,5	48,4
3,5	248,7	199,0	165,8	142,1	124,4	110,5	99,5	90,4	82,9	76,5	71,1	66,3	62,2	58,5	55,2	52,4	49,7	47,4	45,2	43,3	41,4
4	217,6	174,1	145,1	124,3	108,8	96,7	87,0	79,1	72,5	67,0	62,2	58,0	54,4	51,2	48,4	45,8	43,5	41,4	39,6	37,8	36,3
4,5	193,4	154,7	128,9	110,5	96,7	86,0	77,4	70,3	64,5	59,5	55,3	51,6	48,4	45,5	43,0	40,7	38,7	36,8	35,2	33,6	32,2
5	174,1	139,3	116,1	99,5	87,1	77,4	69,6	63,3	58,1	53,6	49,7	46,4	43,5	41,0	38,7	36,7	34,8	33,2	31,7	30,3	29,0
5,5	158,3	126,6	105,5	90,4	79,1	70,3	63,3	57,5	52,8	48,7	45,2	42,2	39,6	37,2	35,2	33,3	31,7	30,1	28,8	27,5	26,4
6	145,1	116,1	96,7	82,9	72,6	64,5	58,0	52,8	48,4	44,6	41,4	38,7	36,3	34,1	32,2	30,5	29,0	27,6	26,4	25,2	24,2
6,5	133,9	107,0	89,3	76,5	67,0	59,5	53,6	48,7	44,6	41,2	38,3	35,7	33,5	31,5	29,8	28,2	26,8	25,5	24,3	23,3	22,3
7	124,4	99,5	82,9	71,1	62,2	55,3	49,8	45,2	41,4	38,2	35,5	33,2	31,1	29,3	27,6	26,2	24,9	23,7	22,6	21,6	20,7
7,5	116,0	92,8	77,4	66,3	58,0	51,6	46,4	42,2	38,7	35,7	33,2	30,9	29,0	27,3	25,8	24,4	23,2	22,1	21,1	20,2	19,3
8	108,8	87,0	72,5	62,2	54,4	48,4	43,5	39,6	36,3	33,5	31,1	29,0	27,2	25,6	24,2	22,9	21,8	20,7	19,8	18,9	18,1
8,5	102,4	81,9	68,3	58,5	51,2	45,5	41,0	37,2	34,1	31,5	29,3	27,3	25,6	24,1	22,8	21,6	20,5	19,5	18,6	17,8	17,1
9	96,7	77,4	64,5	55,3	48,4	43,0	38,7	35,2	32,3	29,8	27,6	25,8	24,2	22,8	21,5	20,4	19,3	18,4	17,6	16,8	16,1
9,5	91,6	73,3	61,1	52,3	45,8	40,7	36,6	33,3	30,6	28,2	26,2	24,4	22,9	21,6	20,4	19,3	18,3	17,4	16,7	15,9	15,3
10	87,0	69,6	58,0	49,7	43,5	38,7	34,8	31,6	29,0	26,8	24,9	23,2	21,8	20,5	19,3	18,3	17,4	16,6	15,8	15,1	14,5
10,5	82,9	66,3	55,3	47,4	41,5	36,8	33,2	30,1	27,6	25,5	23,7	22,1	20,8	19,5	18,4	17,5	16,6	15,8	15,1	14,4	13,8
11	79,1	63,3	52,7	45,2	39,6	35,2	31,7	28,8	26,4	24,4	22,6	21,1	19,8	18,6	17,6	16,7	15,8	15,1	14,4	13,8	13,2
11,5	75,7	60,6	50,5	43,3	37,9	33,6	30,3	27,5	25,2	23,3	21,6	20,2	18,9	17,8	16,8	15,9	15,1	14,4	13,7	13,2	12,6
12	72,5	58,0	48,3	41,5	36,2	32,2	29,0	26,4	24,2	22,3	20,7	19,3	18,1	17,1	16,1	15,3	14,5	13,8	13,2	12,6	12,1

Achtzehntes Capitel.

A. Polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Dampfkesseln.

(Vom 29. Mai 1871.)

I. Bau der Dampfkessel.

§. 1. (Kesselwandungen.) Die vom Feuer berührten Wandungen der Dampfkessel, der Feuerröhren und der Siederöhren dürfen nicht aus Gusseisen hergestellt werden, sofern deren lichte Weite bei cylindrischer Gestalt 25 cm, bei Kugelgestalt 30 cm übersteigt.

Die Verwendung von Messingblech ist nur für Feuerröhren, deren lichte Weite 10 cm nicht übersteigt, gestattet.

§. 2. (Feuerzüge.) Die um oder durch einen Dampfkessel gehenden Feuerzüge müssen an ihrer höchsten Stelle in einem Abstand von mindestens 10 cm unter dem festgesetzten niedrigsten Wasserspiegel des Kessels liegen. Bei Dampfschiffskesseln von 1 bis 2 m Breite muss der Abstand mindestens 15 cm, bei solchen von grösserer Breite mindestens 25 cm betragen.

Diese Bestimmungen finden keine Anwendung auf Dampfkessel, welche aus Siederöhren von weniger als 10 cm Weite bestehen, sowie auf solche Feuerzüge, in welchen ein Erglühen des mit dem Dampfraum in Berührung stehenden Theiles der Wandungen nicht zu befürchten ist. Die Gefahr des Erglühens ist in der Regel als ausgeschlossen zu betrachten, wenn die vom Wasser bespülte Kesselfläche, welche von dem Feuer vor Erreichung der vom Dampf bespülten Kesselfläche bestrichen wird, bei natürlichem Luftzug mindestens zwanzigmal, bei künstlichem Luftzug mindestens vierzigmal so gross ist, als die Fläche des Feuerrostes.

II. Ausrüstung der Dampfkessel.

§. 3. (Speisung.) An jedem Dampfkessel muss ein Speiseventil angebracht sein, welches bei Abstellung der Speisevorrichtung durch den Druck des Kesselwassers geschlossen wird.

§. 4. Jeder Dampfkessel muss mit zwei zuverlässigen Vorrichtungen zur Speisung versehen sein, welche nicht von derselben Betriebsvorrichtung abhängig sind, und von denen jede für sich im Stande ist, dem Kessel die zur Speisung erforderliche Wassermenge zuzuführen. Mehrere zu einem Betriebe vereinigte Dampfkessel werden hierbei als ein Kessel angesehen.

§. 5. (Wasserstandszeiger.) Jeder Dampfkessel muss mit einem Wasserstandsglase und mit einer zweiten geeigneten Vorrichtung zur Erkennung seines Wasserstandes versehen sein. Jede dieser Vorrichtungen muss eine gesonderte Verbindung mit dem Innern des Kessels haben, es sei denn, dass die gemeinschaftliche Verbindung durch ein Rohr von mindestens 60 qcm lichtem Querschnitt hergestellt ist.

§. 6. Werden Probirhähne zur Anwendung gebracht, so ist der unterste derselben in der Ebene des festgesetzten niedrigsten Wasserstandes anzubringen. Alle Probirhähne müssen so eingerichtet sein, dass man behufs Entfernung von Kesselstein in gerader Richtung hindurchstossen kann.

§. 7. (Wasserstandsmarke.) Der für den Dampfkessel festgesetzte niedrigste Wasserstand ist an dem Wasserstandsglase, sowie an der Kesselwandung oder dem Kesselmauerwerk durch eine in die Augen fallende Marke zu bezeichnen.

§. 8. (Sicherheitsventil.) Jeder Dampfkessel muss mit wenigstens einem zuverlässigen Sicherheitsventil versehen sein.

Wenn mehrere Kessel einen gemeinsamen Dampfsammler haben, von welchem sie nicht einzeln abgesperrt werden können, so genügen für dieselben zwei Sicherheitsventile.

Dampfschiffs-, Locomobil- und Locomotivkessel müssen immer mindestens zwei Sicherheitsventile haben. Bei Dampfschiffskesseln, mit Ausschluss derjenigen auf Seeschiffen, ist dem einen Ventil eine solche Stellung zu geben, dass die vorgeschriebene Belastung vom Verdeck aus mit Leichtigkeit untersucht werden kann.

Die Sicherheitsventile müssen jederzeit gelüftet werden können. Sie sind höchstens so zu belasten, dass sie bei Eintritt der für den Kessel festgesetzten Dampfspannung den Dampf entweichen lassen.

§. 9. (Manometer.) An jedem Dampfkessel muss ein zuverlässiges Manometer angebracht sein, an welchem die festgesetzte höchste Dampfspannung durch eine in die Augen fallende Marke zu bezeichnen ist.

An Dampfschiffskesseln müssen zwei dergleichen Manometer angebracht werden, von denen sich das eine im Gesichtskreise des Kesselwärters, das andere mit Ausnahme der Seeschiffe auf dem Verdeck an einer für die Beobachtung bequemen Stelle befindet. Sind auf einem Dampfschiffe mehrere Kessel vorhanden, deren Dampfräume mit einander in Verbindung stehen, so genügt es, wenn ausser den an einzelnen Kesseln befindlichen Manometern auf dem Verdeck ein Manometer angebracht ist.

§. 10. (Kesselmarke.) An jedem Dampfkessel muss die festgesetzte höchste Dampfspannung, der Name des Fabrikanten, die laufende Fabriknummer und das Jahr der Anfertigung in leicht erkennbarer und dauerhafter Weise angegeben sein.

III. Prüfung der Dampfkessel.

§. 11. (Druckprobe.) Jeder neu aufzustellende Dampfkessel muss nach seiner letzten Zusammensetzung vor der Einmauerung oder Ummantelung unter Verschluss sämmtlicher Oeffnungen mit Wasserdruck geprüft werden.

Die Prüfung erfolgt bei Dampfkesseln, welche für eine Dampfspannung von nicht mehr als fünf Atmosphären Ueberdruck bestimmt sind, mit dem zweifachen Betrage des beabsichtigten Ueberdruckes, bei allen übrigen Dampfkesseln mit einem Drucke, welcher den beabsichtigten Ueberdruck um fünf Atmosphären übersteigt. Unter Atmosphärendruck wird ein Druck von einem Kilogramm auf den Quadratcentimeter verstanden.

Die Kesselwandungen müssen dem Probedruck widerstehen, ohne eine bleibende Veränderung ihrer Form zu zeigen, und ohne undicht zu werden. Sie sind für undicht zu erachten, wenn das Wasser bei dem höchsten Druck in anderer Form, als der von Nebel oder feinen Perlen durch die Fugen dringt.

§. 12. Wenn Dampfkessel eine Ausbesserung in der Kesselfabrik erfahren haben, oder wenn sie behufs der Ausbesserung an der Betriebsstätte ganz blosgelegt worden sind, so müssen sie in gleicher Weise, wie neu aufzustellende Kessel, der Prüfung mittelst Wasserdruckes unterworfen werden.

Wenn bei Kesseln mit innerem Feuerrohr ein solches Rohr und bei den nach Art der Locomotivkessel gebauten Kesseln die Feuerbüchse behufs Ausbesserung oder Erneuerung herausgenommen, oder wenn bei cylindrischen und Siedekesseln eine oder mehrere Platten neu eingezogen werden, so ist nach der Ausbesserung oder Erneuerung ebenfalls die Prüfung mittelst Wasserdruckes vorzunehmen. Der völligen Bloslegung des Kessels bedarf es hier nicht.

§. 13. (Prüfungsmanometer.) Der bei der Prüfung ausgeübte Druck darf nur durch ein genügend hohes offenes Quecksilbermanometer, oder durch das von dem prüfenden Beamten geführte amtliche Manometer festgestellt werden.

An jedem Dampfkessel muss sich eine Einrichtung befinden, welche dem prüfenden Beamten die Anbringung des amtlichen Manometers gestattet.

IV. Aufstellung der Dampfkessel.

§. 14. (Aufstellungsort.) Dampfkessel, welche für mehr als vier Atmosphären Ueberdruck bestimmt sind, und solche, bei welchen das Product aus der feuerberührten Fläche in Quadratmetern und der Dampfspannung in Atmosphären Ueberdruck mehr als zwanzig beträgt, dürfen unter Räumen, in welchen Menschen sich aufzuhalten pflegen, nicht aufgestellt werden. Innerhalb solcher Räume ist ihre Aufstellung unzulässig, wenn dieselben überwölbt oder mit fester Balkendecke versehen sind.

An jedem Dampfkessel, welcher unter Räumen, in welchen Menschen sich aufzuhalten pflegen, aufgestellt wird, muss die Feuerung so eingerichtet sein, dass die Einwirkung des Feuers auf den Kessel sofort gehemmt werden kann.

Dampfkessel, welche aus Siederöhren von weniger als 10 cm Weite bestehen, und solche, welche in Bergwerken unterirdisch oder in Schiffen aufgestellt werden, unterliegen diesen Bestimmungen nicht.

§. 15. (Kesselmauerung.) Zwischen dem Mauerwerk, welches den Feuerraum und die Feuerzüge feststehender

Dampfkessel einschliesst, und den dasselbe umgebenden Wänden muss ein Zwischenraum von mindestens 8 cm verbleiben, welcher oben abgedeckt und an den Enden verschlossen werden darf.

V. Allgemeine Bestimmungen.

§. 16. Wenn Dampfkesselanlagen, die sich zur Zeit bereits in Betrieb befinden, den vorstehenden Bestimmungen aber nicht entsprechen, eine Veränderung der Betriebsstätte erfahren sollen, so kann bei deren Genehmigung eine Abänderung in dem Bau der Kessel nach Maassgabe der §§. 1 und 2 nicht gefordert werden. Dagegen finden im Uebrigen die vorstehenden Bestimmungen auch für solche Fälle Anwendung.

§. 17. Die Centralbehörden der einzelnen Bundesstaaten sind befugt, in einzelnen Fällen von der Beachtung der vorstehenden Bestimmungen zu entbinden.

§. 18. Die vorstehenden Bestimmungen finden keine Anwendung 1) auf Kochgefässe, in welchen mittelst Dampfes, der einem anderweitigen Dampfentwickler entnommen ist, gekocht wird; 2) auf Dampfüberhitzer oder Behälter, in welchen Dampf, der einem anderweitigen Dampfentwickler entnommen ist, durch Einwirkung von Feuer besonders erhitzt wird; 3) auf Kochkessel, in welchen Dampf aus Wasser durch Einwirkung von Feuer erzeugt wird, wofern dieselben mit der Atmosphäre durch ein unverschliessbares, in den Wasserraum hinabreichendes Standrohr von nicht über 5 Meter Höhe und mindestens 8 cm Weite verbunden sind.

§. 19. In Bezug auf die Kessel in Eisenbahnlocomotiven bleiben auch ferner noch die Bestimmungen des Bahnpolizeireglements für Eisenbahnen vom 3. Juni 1870 in Geltung.

B. Gesetz, den Betrieb der Dampfkessel betreffend.

Vom 3. Mai 1872.

Wir Wilhelm, von Gottes Gnaden König von Preussen u. s. w. verordnen, mit Zustimmung der beiden Häuser des Landtages was folgt:

§. 1. Die Besitzer von Dampfkesselanlagen oder die an ihrer Statt zur Leitung des Betriebes bestellten Vertreter, sowie die mit der Bewartung von Dampfkesseln beauftragten Arbeiter sind verpflichtet, dafür Sorge zu tragen, dass während des Betriebes die bei Genehmigung der Anlage oder allgemein vorgeschriebenen Sicherheitsvorrichtungen bestimmungsmässig benutzt, und Kessel, die sich nicht in gefahrlosem Zustande befinden, nicht im Betriebe erhalten werden.

§. 2. Wer den ihm nach §. 1 obliegenden Verpflichtungen zuwiderhandelt, verfällt in eine Geldstrafe bis zu 200 Thlr. oder in eine Gefängnissstrafe bis zu drei Monaten.

§. 3. Die Besitzer von Dampfkesselanlagen sind verpflichtet, eine amtliche Revision des Betriebes durch Sachverständige zu gestatten, die zur Untersuchung der Kessel benöthigten Arbeitskräfte und Vorrichtungen bereit zu stellen und die Kosten der Revision zu tragen.

Die näheren Bestimmungen über die Ausführung dieser Vorschrift hat der Minister für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten zu erlassen.

§. 4. Alle mit diesem Gesetze nicht im Einklange stehenden Bestimmungen, insbesondere das Gesetz, den Betrieb der Dampfkessel betreffend, vom 7. Mai 1856 (Gesetzsammlung S. 295), werden aufgehoben.

Urkundlich etc.

C. Regulativ zur Ausführung des Gesetzes vom 3. Mai 1872, den Betrieb der Dampfkessel betreffend.

Auf Grund der Vorschrift im §. 3 des Gesetzes vom 3. Mai 1872, den Betrieb der Dampfkessel betreffend, wird Nachfolgendes verordnet:

1. Ein jeder im Betriebe befindliche Dampfkessel soll von Zeit zu Zeit einer technischen Untersuchung unterliegen.

Es bleibt vorbehalten, Ausnahmen hiervon nachzulassen, insoweit dies im Interesse der öffentlichen Sicherheit unbedenklich erscheint.

2. Die technische Untersuchung hat zum Zweck, den Zustand der Kesselanlage überhaupt, deren Uebereinstimmung mit dem Inhalt der Genehmigungsurkunde und die bestimmungs-

mässige Benutzung der bei Genehmigung der Anlage oder allgemein vorgeschriebenen Sicherheitsvorrichtungen festzustellen.

3. Die Untersuchung erfolgt hinsichtlich der Dampfkessel auf Bergwerken, Aufbereitungsanstalten und Salinen, auf welche die Vorschriften des allgemeinen Berggesetzes vom 24. Juni 1865 Anwendung finden, durch die Bergrevierbeamten, im Uebrigen durch die von der zuständigen Staatsbehörde dazu berufenen Sachverständigen. Namen und Wohnort derselben wird, unter Bezeichnung des Bezirkes, auf welchen ihr Auftrag sich erstreckt, durch das Amtsblatt bekannt gemacht.

Bewegliche Dampfkessel gehören zu demjenigen Bezirke, in welchem ihr Besitzer oder dessen Vertreter wohnt, Dampfschiffskessel zu demjenigen, in welchem die Schiffe überwintern, oder falls dies ausserhalb Landes geschieht, zu demjenigen, in welchem ihr Hauptanlegeplatz sich befindet.

4. Dampfkessel, deren Besitzer Vereinen angehören, welche eine regelmässige und sorgfältige Ueberwachung der Kessel vornehmen lassen, können mit Genehmigung des Ministeriums für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten von der amtlichen Revision befreit werden.

Es bedarf einer öffentlichen Bekanntmachung durch das Amtsblatt, wenn einem Vereine eine solche Vergünstigung gewährt oder dieselbe wieder entzogen worden ist.

Ausnahmsweise kann auch einzelnen Dampfkesselbesitzern, welche für eine regelmässige Ueberwachung ihrer Dampfkessel entsprechende Einrichtungen getroffen haben, die gleiche Vergünstigung zu Theil werden.

5. Die vorgedachten Vereine haben den königlichen Regierungen (resp. Landdrosteien, Oberbergämtern, in Berlin dem königlichen Polizeipräsidium) ein Verzeichniss der dem Verein angehörenden Kesselbesitzer unter Angabe der Anzahl der von denselben in dem Bezirke betriebenen Kessel, sowie eine Uebersicht aller in dem Laufe des Jahres ausgeführten Untersuchungen, welche zugleich deren Art und Ergebniss ersehen lässt, am Jahresschluss einzureichen. Sie haben ferner von jeder Aufnahme eines Kessels in den Verband und von jedem Ausscheiden aus demselben dem zur amtlichen Untersuchung der Dampfkessel in dem betreffenden Bezirke berufenen Sachverständigen unverzüglich Nachricht zu geben.

Die veröffentlichten Jahresberichte sind regelmässig dem Ministerium für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten vorzulegen.

Die Vorschriften im ersten Absatze finden auch auf einzelne von der amtlichen Aufsicht befreite Kesselbesitzer (4) Anwendung.

6. Die amtliche Untersuchung der Dampfkessel ist eine äussere und eine innere. Jene findet alle zwei Jahre, diese alle sechs Jahre statt und ist dann mit jener zu verbinden.

7. Die äussere Untersuchung besteht vornehmlich in einer Prüfung der ganzen Betriebsweise des Kessels; eine Unterbrechung des Betriebes darf dabei nur verlangt werden, wenn Anzeichen gefahrbringender Mängel, deren Dasein und Umfang anders nicht festgestellt werden kann, sich ergeben haben.

Die Untersuchung ist vornehmlich zu richten: auf die Vorrichtungen zum regelmässigen Speisen des Kessels; auf die Ausführung und den Zustand der Mittel, den Normalwasserstand in dem Kessel zu allen Zeiten mit Sicherheit beurtheilen zu können; auf die Vorrichtungen, welche gestatten, den etwaigen Niederschlag an den Kesselwandungen zu entdecken und den Kessel zu reinigen; auf die Vorrichtungen zum Erkennen der Spannung der Dämpfe im Kessel; auf die Ausführung und den Zustand der Mittel, den Dämpfen einen freien Abzug zu gestatten, wenn die Normalspannung überschritten wird, auf die Ausführung und den Zustand der Feuerungsanlage selbst, die Mittel zur Regelung und Absperrung des Zutrittes der atmosphärischen Luft und zur thunlichst schnellen Beseitigung des Feuers.

Auch ist zu prüfen, ob der Kesselwärter die zur Sicherheit des Betriebes erforderlichen Vorrichtungen kennt und anzuwenden versteht.

8. Die innere Untersuchung erstreckt sich auf den Zustand der Kesselanlage überhaupt; sie umfasst auch die Prüfung der Widerstandsfähigkeit der Kesselwände und des Zustandes des Kesselinneren. Sie ist stets mit einer Probe durch Wasserdruck nach §. 11 der allgemeinen Bestimmungen für die Anlage von Dampfkesseln vom 29. Mai 1871 zu verbinden. Behufs ihrer Ausführung muss der Betrieb des Kessels eingestellt werden.

Die Untersuchung ist vornehmlich zu richten: auf die Beschaffenheit der Kesselwandungen, Nieten und Anker im Aeusseren wie im Inneren des Kessels, sowie der Heiz- und Rauchrohre, der Verbindungsstutzen, wobei zu ermitteln ist, ob die Dauerhaftigkeit dieser Theile durch den Gebrauch gefährdet ist, und die nach Art der Locomotivfeuerröhren

eingesetzten Röhren nöthigenfalls herauszuziehen sind; auf das Vorhandensein und die Natur des Kesselsteines; auf den Zustand der Wasserleitungsröhren und der Reinigungsöffnungen, auf den Zustand der Speise- und Dampfventile; auf den Zustand der Verbindungsröhren zwischen Kessel und Manometer resp. Wasserstandszeiger, sowie der übrigen Sicherheitsvorrichtungen; auf den Zustand des Rostes, der Feuerbrücke und der Feuerzüge ausserhalb wie innerhalb des Kessels.

Die Ummauerung oder Ummantelung des letzteren muss, wenn die Untersuchung sich durch Befahrung der Züge oder auf andere einfache Weise nicht zur Genüge bewirken lässt, an einzelnen zu untersuchenden Stellen; oder wenn es sich als nothwendig herausstellt, gänzlich beseitigt werden.

9. Werden bei einer Untersuchung erhebliche Unregelmässigkeiten in dem Betriebe ermittelt, so kann nach Ermessen des Beamten in dem folgenden Jahre die äussere Untersuchung wiederholt werden.

Hat eine Untersuchung Mängel ergeben, welche Gefahr herbeiführen, und wird diesen nicht sofort abgeholfen, so muss nach Ablauf der zur Herstellung des vorschriftsmässigen Zustandes erforderlichen Frist die Untersuchung von Neuem vorgenommen werden.

Befindet sich der Kessel bei der Untersuchung in einem Zustande, welcher eine unmittelbare Gefahr einschliesst, so ist die Fortsetzung des Betriebes bis zur Beseitigung der Gefahr zu untersagen. Vor der Wiederaufnahme des Betriebes ist in diesem Fall die ganze Untersuchung zu wiederholen, und der vorschriftsmässige Zustand der Anlage festzustellen.

10. Die äussere Untersuchung erfolgt ohne vorherige Benachrichtigung des Kesselbesitzers.

Von der bevorstehenden inneren Untersuchung ist der Besitzer mindestens vier Wochen vorher zu unterrichten; über die Wahl des Zeitpunktes für diese Untersuchung soll der Sachverständige sich mit dem Besitzer zu verständigen suchen, um den Betrieb der Anlage so wenig wie möglich zu beeinträchtigen.

Bewegliche Dampfkessel sind von den Besitzern oder deren Vertretern im Laufe des Revisionsjahres nach ergangener Aufforderung an einem beliebigen Orte innerhalb des Revisionsbezirkes für die Untersuchung bereit zu stellen.

Durch die Untersuchung der Dampfschiffskessel dürfen die Fahrten der Schiffe nicht gestört werden. Die innere Unter-

suchung von Dampfschiffskesseln ist vor dem Beginn der Fahrten des betreffenden Jahres zu bewirken.

Falls ein Kesselbesitzer der Anforderung des zur Untersuchung berufenen Beamten, den Kessel für die Untersuchung bereit zu stellen, nicht entspricht, so ist auf Antrag des Beamten der Betrieb des Kessels bis auf Weiteres polizeilich still zu legen.

Die zur Ausführung der Untersuchung erforderliche Arbeitshülfe hat der Besitzer des Kessels den Beamten auf Verlangen unentgeltlich zur Verfügung zu stellen.

11. Für jeden Kessel hat der Kesselbesitzer ein Revisionsbuch zu halten, welches bei dem Kessel aufzubewahren ist. Dem Buche ist die nach Maassgabe der Nr. 6 der Anweisung zur Ausführung der Gewerbeordnung vom 21. Juni 1869 oder der früheren entsprechenden Bestimmungen ertheilte Abnahmebescheinigung anzuhängen.

Der Befund der Untersuchung wird in dieses Revisionsbuch eingetragen. Abschrift des Vermerkes übersendet der Sachverständige der Polizeibehörde des Ortes, an welchem der Kessel sich befindet. Diese hat für die Abstellung der festgesetzten Mängel und Unregelmässigkeiten Sorge zu tragen.

12. Der Sachverständige überreicht am Jahresschluss der königl. Regierung (Landdrostei) des Bezirkes, in Berlin dem königl. Polizei-Präsidium, eine Nachweisung der von ihm im Laufe des Jahres untersuchten Dampfkessel, welche den Namen des Ortes, an welchem der Kessel sich befindet, den Namen des Kesselbesitzers, die Bestimmung des Kessels, den Tag der Revision und in kurzen Worten den Befund derselben ersehen lässt.

13. Für die äussere Untersuchung eines jeden Dampfkessels ist eine Gebühr von 5 Thlrn. zu entrichten. Gehören mehrere Dampfkessel zu einer gewerblichen Anlage, so ist nur für die Untersuchung des ersten Kessels der volle Satz, für die jedes folgenden aber die Hälfte zu entrichten, wenn die Untersuchung innerhalb desselben Jahres erfolgt. Letzteres hat zu geschehen, sofern erhebliche Anstände nicht obwalten. Ist die Untersuchung zugleich eine innere, so beträgt die Gebühr in allen Fällen 10 Thlr. für jeden Kessel.

14. Bei denjenigen ausserordentlichen Untersuchungen (9), welche ausserhalb des Wohnortes des Sachverständigen erfolgen, hat dieser auch auf die bestimmungsmässigen Tagegelder und Reisekosten Anspruch.

15. Gebühren und Kosten (13. 14) werden bei der Polizeibehörde des Ortes, wo die Untersuchung erfolgt ist, liquidirt, durch diese festgesetzt und von dem Kesselbesitzer eingezogen.

Berlin, den 24. Juni 1872.

Der Minister für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten.

(gez.) Graf v. Itzenplitz.

ALPHABETISCHES SACHREGISTER.

A.

Abblasen 172, 206, 226.
Abblasehahn 172, 242.
Abblasen von Niederschlägen 210.
Adamson's Ring 138, 253.
Alte Kessel 260, 273.
Analysis von Kohlen 301, 312.
Anker in Kesseln 28, 115, 247, 119.
Armaturen 36, 114.
Ausbesserungen an Kesseln 254, 280.

B.

Ballonkessel 4.
Biegeproben 45, 47.
Blechanker 28, 119.
Blechplatten 45.
— geschweisst 108.
Boden, Art der Befestigung 25.
Bohren 80, 85.
Bourdon-Manometer 165.
Bowling-Ring 140.
Breeches-Kessel 5.
Braunkohlen 304.
— Verdampfungskraft 305.
Butterly-Kessel 5.
Brunnenwasser 196, 216.

C.

Chlorcalcium 191.
— magnesium 196.
— natrium 196.
— barium 214.
Circulation 148, 248, 279, 336.
Constructionsfehler 277.
Conische Ventile 154.
Cornish-Kessel 5.
Cylinder mit äusserem Druck 14, 375.
— mit innerem Druck 8, 366.

D.

Dampfdom 180.
Deckbarren 29, 135.
Dicke des Feuers 322.
Druckprobe, Dampf 264.
— Heisswasser 268.
— Wasser 265.

E.

Ebene Flächen 25.
Ecken von Feuerbüchsen 249.
Einmauerung der Kessel 241, 189.
Eisenrohre 125.

Elephantenkessel 6.
Elasticität des Eisens 258.
Explosion, Art derselben 283.

F.

Federwage 159.
Feuerbrücke 188.
Feuerkasten, Verankerung 136, 37, 114, 127.
— Ecke desselben 249.
Feuerthür 183.
Flammenrohre 138, 234, 248, 340.
Flammenöfen 321.
Fett im Kessel 200.
Flusswasser 196.
Furchen der Bleche 236.

G.

Galloway-Kessel 5.
Gewölbte Böden 23.
Gewicht des Dampfes 363.
Grösse der Kohlen 322.
Grösse von Kesseln 258.
Grusskohlen 323.
Gusseisen 30.
— Festigkeit desselben 31.
— Röhrenkessel aus 34.
— Textur desselben 36.
Gyps 199.

H.

Hammerprobe an Kesseln 270.
Heizfläche 329, 351.
— von Rohren 332.
Heizrohre 121.
Heuschober-Kessel 14.

I.

Innere Untersuchung der Kessel 267.
Injector 147.

K.

Kali, schwefelsaures 196.
Kalkmilch 222.
Kalk, kohlensaurer 196.
— schwefelsaurer 196, 199.
Kartoffeln, gegen Kesselstein 217.
Kessel, Armaturen 36, 144.
— Construction derselben 110.
— -Explosionen 275.
— -Mauerungen 189, 241.
— -Böden 113, 25.
— -Stein, chemische Mittel gegen 211.
— -Stein, mechanische Mittel gegen 217.
Kesselstein, Entfernung durch Temperaturänderung 224.
Kessel-Prüfung 263.
Kettenvernietung 105.
Kieselerde 196.
Kohlenstoff 296.
Kohlenoxyd 305.
Kohlensäure 305.
Kohlenwasserstoff 301, 321.
Kleinkohle 323.
Kopfplatten 113.
Kugel 23.
Kupfer 37.
— Festigkeit bei hoher Temperatur 39.

L.

Lancashire-Kessel 5, 111, 138.
Lecken der Nietnähte 246, 272, 248.
Luft, hinter der Feuerbrücke 256.
— Quantum zur Verbrennung 307.
— Oeffnung in der Feuerthür 324.
Leidenfrost's Phänomen 292.
Leitungsvermögen 337.
Lochen 80.
Losschlagen von Kesselstein 225.
Locomotivkessel 6, 112, 148, 179, 240, 351.

M.

Mannloch 176.
— Deckel desselben 176.
Manometer 165.
Maschinennietung 70.
Materialfehler 43, 280.
Mechanisches Feuern 323.
Meerwasser 197.
Messingrohre 124.

N.

Natron, salpetersaures 196.
Nieteisen, absolute Festigkeit 71.
Nietnaht, Bruch in derselben 97.
— Reibung in derselben 74.
— Festigkeit „ „ 91, 100, 103, 105.
— Theilung 94.

O.

Oberflächen-Abblaseapparate 207.
— -Condensation 222.

P.

Pferdekraft von Kesseln 358.
Planroste 185.
Probirhahn 168.

R.

Rastic-Kessel 6.
Rauchverhinderung 317.
Reibung in der Nietnaht 72.
Reinigungsgefässe für Speisewasser 221.
Risse in der Nietnaht 250.
Rohre mit äusserem Druck 16, 375.
— mit innerem Druck 9, 366.
— Querschnitt derselben 353.
Rohrlänge 18, 22, 346, 353.
Röhrenkessel 5, 122, 333.
Rohsoda 214.
Rost 183, 351.
— -Stäbe 185.

S.

Salmiak 215.
Salze 196.
Salzsäure 215.
Sammelapparat für Unreinigkeiten des Wassers 221.
Schädigung des Kessels durch Druckprobe 271.
Schlammlöcher 178.
Schmelzbare Platten 163.
Schmiedeeisen 39.
Schmiedebarer Guss 53.
Schweissen 106.
Schwimmer 168.
Seewasser 196.
Sicherheitsventil 152.
Siederohre 121.
Sicherheitscoëfficient von Kesseln 257.
Soda 211.
— Wirkung derselben 211.
— Einfluss auf Bleche 213.
— Einführung in Kessel 213.
— im Ueberschuss 213.
Stärke gegen Kesselstein 217.
Stahl 54.
— Festigkeit desselben 57.
— Lochen desselben 60.
— Biegeproben 65, 66.
Stehbolzen 114, 127, 132.
— Verrosten derselben 229.
Stemmen 77.
Steinkohle 300.

T.

Tanninsäure 215.
T-Eisenverstärkung für Kesselböden 118.
Temperatur des Dampfes 363.
— des Schornsteinzuges 347.
— der Verbrennungsgase 340.
Treibdorn 74.

Treppenroste 186, 304.
Tabellen: Biegeproben 45, 47.
— Eigenschaften der Elemente 296.
— „ „ des gesättigten Wasserdampfes 363.
— Festigkeit von Eisen 52.
— „ „ geschweisster Bleche 108.
— Festigkeit von Kupfer 39.
— Nietnähte, einfache 100.
— „ doppelte 103, 105.
— Festigkeit von Stahl 66.
— „ „ der Rohre mit äusserem Druck 375.
— Festigkeit der Rohre mit innerem Druck 366.
— Befestigung von Rohren 124.
— Stehbolzen 129.
— Entfernung von Stehbolzen 132.
— Heizversuche mit Kohlen 314.
— Verdampfung von Wasser pro Einheit Heizfläche 356.
— Verbrennung von Kohlen 327.
— Verbrennungswärme 298.

U.

Ueberdruck 281.
Ueberhitzen von Blechen 200, 291.
Ueberschäumen des Wassers 362, 182.
Unfälle bei Druckprobe 269.
Unterfeuerung 250, 326.
Untersuchung von Explosionen 287.
Ursache von Explosionen 289, 293.

V.

Verankerung von Kesseln 29, 117, 134, 277, 128.
Verbrennungsgase, Explosion derselben 282.
— Temperatur 340.
Verbrennung von Kohlen 295, 304, 327.
Verbrennungswärme 298, 305.
Verdampfungsversuche 342.
Verdampfungskraft von Kesseln und Rohren 343.
Verrosten der Kessel, gleichmässiges 227.
— in Flecken und Narben 230.
— in Nieten und Furchen 233.
Versuchskessel 313.
Vernietung 67.
Verticalkessel 6, 280.
Vorfeuerung 188, 321.

W.

Walzeisen 47.
Wasser, Brunnen- 194.
— See- 197.
— als Verbrennungsproduct 299.
Wasserstand, Anzeiger 168.
— Gläser 168.
— niedriger 163, 278.
Wasserstoff 299, 305.
Wärme, im Dampfe enthalten 36

Z.

Zink, gegen Kesselstein 215.
Zug, im Schornstein 347.
— mit Gebläse 347.
— Temperatur der Gase 347.
Züge der Kesselmauerung 189, 241 244.

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

Lehrbuch
der
Ingenieur- und Maschinen-Mechanik.

Mit den nöthigen Hülfslehren aus der Analysis für den Unterricht an technischen Lehranstalten, sowie zum Gebrauch für Techniker

von

Dr. phil. Julius Weisbach,

weil. Königl. Sächsischer Ober-Bergrath und Professor an der Sächsischen Bergakademie zu Freiberg.

Fünfte verbesserte und vervollständigte Auflage

bearbeitet von

Gustav Herrmann,

Professor an der Königl. polytechnischen Schule zu Aachen.

In drei Theilen. Jeder Theil mit etwa 800 bis 1000 in den Text eingedruckten Holzstichen. gr. 8. Fein Velinpapier. geh.

Erster Theil: Theoretische Mechanik. Fünfte verbesserte und vervollständigte Auflage. Preis 26 Mark.

Zweiter Theil: Statik der Bauwerke und Mechanik der Umtriebsmaschinen. Vierte verbesserte und vervollständigte Auflage. Vollständig in 12 Lieferungen. Preis 18 Mark.

Dritter Theil: Die Mechanik der Zwischen- und Arbeitsmaschinen. Zweite verbesserte und vervollständigte Auflage. Bearbeitet von Prof. Gustav Herrmann. Erste Abtheilung. Erste bis achte Lieferung. Preis à Lieferung 2 Mark.

Weisbach's Ingenieur.

Sammlung von Tafeln, Formeln und Regeln der Arithmetik, der theoretischen und praktischen Geometrie sowie der Mechanik und des Ingenieurwesens.

Sechste, völlig umgearbeitete Auflage,

unter Mitwirkung

von

F. Reuleaux,

Professor,

Director der Königl. Gewerbe-Akademie in Berlin, Mitglied der Königl. technischen Deputation für Gewerbe,

herausgegeben von

G. Querfurth,

Ingenieur und Professor an der Herzoglich technischen Hochschule zu Braunschweig.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzstichen. 8. geh.

Complet in vier Abtheilungen. Preis 8 Mark 40 Pf.

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

Der Führer des Maschinisten.

Anleitung

zur Kenntniss, zur Wahl, zur Aufstellung, Wartung und Feuerung

der

Dampfmaschinen, Dampfkessel und Triebwerke.

Ein Hand- und Hülfsbuch

für Heizer, Dampfmaschinenwärter, angehende Mechaniker, Ingenieure, Fabrikherren, Maschinenbauanstalten, technische Behörden und Gewerbeschulen.

Nach selbstständiger Erfahrung bearbeitet von

E. F. Scholl,

Civil-Ingenieur.

Neunte verbesserte und vermehrte, unter Mitwirkung von F. Reuleaux herausgegebene Auflage.

Mit 370 in den Text eingedruckten Holzstichen und einer Maasstafel.

8. Fein Velinpap. geh. Preis 9 Mark.

Die Motoren für das Kleingewerbe.

Von

Alfred Musil,

Maschinen-Ingenieur der Hüttenberger Eisenwerks-Gesellschaft in Klagenfurt.

Mit 4 Tafeln und in den Text eingedruckten Holzstichen. gr. 8. geh.

Preis 4 Mark.

Der Constructeur.

Ein Handbuch zum Gebrauch beim Maschinen-Entwerfen.

Für

Maschinen- und Bau-Ingenieure, Fabrikanten und technische Lehranstalten.

Von

F. Reuleaux,

Professor,

Director der Königl. Gewerbe-Akademie in Berlin, Mitglied der Königl. technischen Deputation für Gewerbe.

Dritte, sorgsam durchgearbeitete und erweiterte Auflage.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzstichen. Royal-Octav.

Fein Velinpapier. geh. Preis 14 Mark 40 Pf.

Schwaighofer

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Wilson, Robert,

Die Dampfkessel, deren Festigkeit, Construction und ökonomischer Betrieb

Braunschweig 1878

Math.a. 253 p
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11374220-3